Biblioteca Scientifica 50

Antonio Damasio

IL SÉ VIENE ALLA MENTE

La costruzione del cervello cosciente

ADELPHI

DELLO STESSO AUTORE:

Alla ricerca di Spinoza
Emozione e coscienza
L'errore di Cartesio

ANTONIO DAMASIO

Il sé viene alla mente

La costruzione del cervello cosciente

TRADUZIONE DI ISABELLA C. BLUM

ADELPHI EDIZIONI

TITOLO ORIGINALE:
Self Comes to Mind
Constructing the Conscious Brain

Si ringrazia il professor Michele Di Francesco
per la consulenza filosofica

© 2010 ANTONIO DAMASIO

© 2012 ADELPHI EDIZIONI S.P.A. MILANO

WWW.ADELPHI.IT

ISBN 978-88-459-2671-6

INDICE

PARTE PRIMA

DA CAPO, SI RICOMINCIA

1. Risveglio 13
2. Dalla regolazione dei processi vitali al valore biologico 47

PARTE SECONDA

QUALI SONO, NEL CERVELLO, LE POSSIBILI SEDI DELLA MENTE?

3. La creazione di mappe e immagini 87
4. Il corpo nella mente 119
5. Emozioni e sentimenti 142
6. Un'architettura per la memoria 169

PARTE TERZA

ESSERE COSCIENTI

7. La coscienza osservata 201
8. La costruzione di una mente cosciente 230

9. Il sé autobiografico 266
10. Ogni pezzo al suo posto 302

PARTE QUARTA
MOLTO TEMPO DOPO

11. Vivere con la coscienza 333

Appendice. L'architettura del cervello 371

Note 391

Ringraziamenti 429

Indice analitico 433

Per Hanna

IL SÉ VIENE ALLA MENTE

La mia anima è una misteriosa orchestra; non so quali strumenti suoni e strida dentro di me; corde e arpe, timballi e tamburi. Mi conosco come una sinfonia.

FERNANDO PESSOA, *Il libro dell'inquietudine*

Ciò che non posso costruire, non posso capirlo.

RICHARD FEYNMAN

PARTE PRIMA
DA CAPO, SI RICOMINCIA

1
RISVEGLIO

Quando mi sono svegliato, stávamo scendendo. Avevo dormito a lungo: abbastanza da perdermi gli annunci su atterraggio e condizioni meteo, inconsapevole di me stesso e dell'ambiente circostante. Incosciente.

Poche cose della nostra biologia sono in apparenza tanto banali come questo oggetto di uso quotidiano che chiamiamo coscienza, la fenomenale abilità che consiste nel disporre di una mente dotata di un proprietario: il protagonista della nostra vita, un sé che ispeziona al tempo stesso il mondo dentro di noi e fuori di noi, un agente apparentemente pronto all'azione.

La coscienza non è un mero stato di veglia. Quando mi sono svegliato, appena due paragrafi fa, non mi sono guardato intorno con aria assente, assorbendo immagini e suoni quasi che la mia mente, ora ridestata, non appartenesse a nessuno. Al contrario, io sapevo – me ne sono reso conto senza alcuno sforzo e quasi istantaneamente, con un'esitazione minima (o forse senza esitare nemmeno un po') – che quello lì seduto su un aeroplano ero io, la mia identità, che me ne tornavo in volo a Los Angeles, a casa, con una lunga lista di cose da fare prima che finisse la giornata, consapevole di una strana

combinazione di affaticamento per il viaggio e di entusiasmo per quello che mi aspettava, curioso di vedere su quale pista saremmo atterrati, e attento alle regolazioni di potenza dei motori che ci stavano riportando a terra. Essere sveglio era senza dubbio indispensabile per trovarsi in quello stato, il cui aspetto principale, tuttavia, di certo non era lo stato di veglia. Ma allora che cosa? Il fatto che la miriade di contenuti presenti nella mia mente, a prescindere dal loro ordine o dalla loro intensità, fossero *connessi* a me, il proprietario della mente, attraverso lacci invisibili che li univano in quella festa mobile, proiettata in avanti, che chiamiamo «sé»; e, non meno importante, il fatto che quella connessione fosse *sentita*. Vi era, nell'esperienza del mio sé connesso, la qualità di ciò che è *sentito*.

Il risveglio ha implicato che la mia mente, dopo la sua temporanea assenza, tornasse a presentarsi, con *me* dentro, e che entrambi, la proprietà (la mente) e il proprietario (me), venissero rintracciati. Il risveglio mi ha consentito di riemergere e di esaminare i miei possedimenti mentali, la proiezione a tutto cielo di un film magico, in parte documentario e in parte *fiction*, altrimenti noto come «mente umana cosciente».

Tutti noi abbiamo libero accesso alla coscienza, la quale affiora nella nostra mente con una tale generosa facilità che – senza esitazione o apprensione – noi la lasciamo spegnere ogni sera quando andiamo a letto, permettendole di tornare tutte le mattine quando suona la sveglia, per almeno 365 volte all'anno (senza contare i sonnellini). Eppure, poche cose del nostro essere sono straordinarie, fondamentali e apparentemente misteriose al pari della coscienza. Senza di essa – in altre parole, senza una mente dotata di soggettività – non avremmo alcun modo di sapere che esistiamo, e meno che mai di sapere chi siamo e che cosa pensiamo. Con ogni probabilità, se la soggettività non fosse mai affiorata – sebbene inizialmente in forme molto modeste, e in creature molto più semplici di noi –, la memoria e il ragionamento

non avrebbero conosciuto lo sviluppo prodigioso cui andarono invece incontro; quanto alla via evolutiva che ha portato al linguaggio e alla raffinata versione umana della coscienza oggi in nostro possesso, non sarebbe mai stata tracciata. La creatività non sarebbe fiorita: niente musica, niente pittura, niente letteratura. L'amore non sarebbe mai stato amore, ma soltanto sesso. L'amicizia non sarebbe stata altro che mera, interessata cooperazione. Il dolore non sarebbe mai diventato sofferenza – non una cosa negativa, se ci si pensa bene –, ma sarebbe rimasto un vantaggio equivoco (considerando che anche il piacere non sarebbe mai diventato beatitudine). Se la soggettività non avesse fatto la sua rivoluzionaria comparsa in scena, non ci sarebbe stata conoscenza alcuna, né qualcuno a prenderne nota; di conseguenza, non vi sarebbe una storia delle gesta dei viventi nel corso delle ere, e nemmeno una cultura.

Sebbene io non abbia ancora fornito una definizione operativa di coscienza, spero che non sussista alcun dubbio su che cosa significa *non* averne una: in assenza di coscienza, la prospettiva personale è sospesa; l'individuo non sa della propria esistenza né è al corrente dell'esistenza di qualsiasi altra cosa. Se, nel corso dell'evoluzione, la coscienza non si fosse sviluppata ed espansa fino a giungere alla sua attuale versione umana, anche l'umanità, così come la conosciamo – con tutta la sua forza e la sua fragilità –, non si sarebbe mai sviluppata. C'è da rabbrividire al pensiero che, se l'evoluzione non avesse imboccato quella svolta, non ci sarebbero state le alternative biologiche che ci rendono autenticamente umani. In tal caso, però, come avremmo fatto ad accorgerci che mancava qualcosa?

Noi diamo la coscienza per scontata perché è largamente disponibile, molto facile da usare e decisamente elegante con quel suo quotidiano apparire e scomparire; eppure, quando pensiamo a essa – scienziati e profa-

ni allo stesso modo – restiamo sconcertati. Di che cosa è fatta la coscienza? Una mente... che si morde la coda: questo a me sembra; infatti non possiamo essere coscienti senza una mente di cui esserlo. Ma allora, di che cosa è fatta la mente? Proviene dall'aria o dal corpo? I più perspicaci sostengono che proviene dal cervello, anzi: credono che essa *sia* il cervello; tuttavia anche questa non è una risposta soddisfacente. Come fa il cervello a *costruire* la mente?

Il fatto che nessuno veda la mente altrui, cosciente o no che essa sia, è particolarmente misterioso. Possiamo osservare il corpo e le azioni degli altri, e anche ciò che essi fanno, dicono o scrivono; possiamo fare perfino ipotesi ragionevoli su quello che pensano. Ma non possiamo osservare la loro mente, e soltanto a noi è dato di osservare la nostra: dall'interno, e attraverso una finestra alquanto stretta. Le proprietà della mente – e a maggior ragione quelle della mente cosciente – sembrano diverse in modo così radicale da quelle della materia vivente visibile che le persone di indole riflessiva si domandano come faccia un processo (il funzionamento della mente cosciente) ad armonizzarsi con l'altro (il fatto che cellule dotate di realtà fisica convivano in aggregati denominati «tessuti»).

D'altra parte, ammettere che la mente cosciente sia un'entità misteriosa – e a un primo sguardo essa lo è davvero – è cosa ben diversa dal sostenere che il mistero sia insolubile: è diverso dal dire che non riusciremo mai a capire come un organismo vivente, dotato di cervello, possa sviluppare una mente cosciente.[1]

OBIETTIVI E RAGIONI

In questo libro intendo affrontare due interrogativi. In primo luogo: come fa il cervello a costruire una mente? E in secondo luogo: come fa il cervello a dotare quella mente di coscienza? Sono ben consapevole che af-

frontare un interrogativo non significa trovare una risposta, e che sulla questione della mente cosciente sarebbe sciocco presumere l'esistenza di risposte definitive. Mi rendo anche conto del fatto che lo studio della coscienza si è espanso a tal punto che ormai non è più possibile far menzione di tutti i contributi. Il che, insieme ai problemi di terminologia e prospettiva, rende l'attuale ricerca sull'argomento qualcosa di simile a una passeggiata in un campo minato. Nondimeno, procedendo a proprio rischio e pericolo, è ragionevole riflettere sugli interrogativi e servirsi delle informazioni attualmente disponibili (sebbene incomplete e provvisorie) per formulare congetture verificabili e sognare il futuro. Obiettivo di questo libro è riflettere sulle congetture e discutere un quadro costituito da alcune ipotesi; esso si concentrerà sui requisiti strutturali e funzionali che un cervello deve possedere affinché possa emergere una mente cosciente.

I libri dovrebbero essere scritti per una ragione, e questo è stato scritto per ricominciare da capo. Ormai sono più di trent'anni che studio la mente e il cervello dell'uomo e sulla coscienza ho già scritto libri e articoli scientifici.[2] La mia descrizione del problema, tuttavia, non mi soddisfa più e la riflessione sui risultati, vecchi e nuovi, di ricerche rilevanti ha finito per modificare le mie idee su due questioni in particolare: l'origine e la natura del sentire e i meccanismi alla base della costruzione del sé. Questo libro è un tentativo di discutere le mie posizioni attuali. In una misura certo non indifferente, il libro riguarda anche ciò che ancora non sappiamo ma vorremmo tanto conoscere.

La parte restante di questo capitolo contestualizza il problema, spiega il quadro concettuale in cui si è scelto di affrontarlo e anticipa le principali idee che emergeranno nei capitoli successivi. Alcuni lettori probabilmente troveranno che questa lunga introduzione rallenti la lettura, ma garantisco che renderà il resto del libro molto più accessibile.

Prima di muovere qualche timido passo in avanti per comprendere in che modo il cervello umano costruisce una mente cosciente, dobbiamo riconoscere due importanti eredità. Una consiste nei tentativi risalenti alla metà del secolo scorso di scoprire la base neurale della coscienza. In una serie di studi pionieristici condotti nel Nord America e in Italia, un piccolo gruppo di ricercatori ha puntato con sbalorditiva sicurezza a una parte del cervello – il tronco encefalico, che oggi sappiamo essere inequivocabilmente legato alla creazione della coscienza –, identificandola come responsabile di un fondamentale contributo. Alla luce di quello che sappiamo oggi, non sorprende che la descrizione fornita da questi pionieri – Wilder Penfield, Herbert Jasper, Giuseppe Moruzzi e Horace Magoun – fosse incompleta e non del tutto corretta. D'altra parte dovremmo nutrire solo stima e ammirazione per gli scienziati che intuirono il bersaglio, puntando a esso con tanta precisione. Questi furono gli eroici esordi dell'impresa alla quale molti di noi desiderano oggi dare il proprio contributo.[3]

Fanno parte di questa eredità anche studi eseguiti più recentemente su pazienti la cui coscienza era stata compromessa da un danno cerebrale localizzato. A inaugurare l'impresa sono stati gli studi di Fred Plum e Jerome Posner.[4] Nel corso degli anni queste ricerche, andando a completare quelle dei pionieri già citati, hanno prodotto un robusto corpus di dati riguardanti le strutture cerebrali che sono (o non sono) implicate nel rendere cosciente la mente umana. Noi ora possiamo costruire su quelle fondamenta.

La seconda eredità che deve essere riconosciuta consiste in una lunga tradizione nel corso della quale sono state formulate varie concezioni della mente e della coscienza. Tale tradizione ha una storia ricca, lunga e varia come quella della filosofia. Fra tutto quello che essa generosamente ci offre, ho scelto quale punto d'ancorag-

gio per il mio pensiero gli scritti di William James, sebbene ciò non implichi che io sottoscriva pienamente le sue posizioni sulla coscienza e, soprattutto, su sensazioni e sentimenti.[5]

Fin dalle prime pagine, questo libro non lascia alcun dubbio sul fatto che, nell'accostarmi alla mente cosciente, io privilegi il sé. Io credo che la mente cosciente emerga quando a un processo mentale elementare va ad aggiungersi un processo del sé. A rigor di termini, se in una mente manca il sé, vuol dire che quella mente non è cosciente. Questa è la situazione in cui si trovano gli esseri umani il cui processo del sé sia sospeso da un sonno senza sogni, dall'anestesia o da una patologia cerebrale.

Definire il processo del sé, che io considero così indispensabile per la coscienza, è tuttavia cosa più facile a dirsi che a farsi. Ecco perché William James ci è tanto utile in questa premessa. James scrisse pagine assai convincenti sull'importanza del sé, ma osservò anche come in molte occasioni la sua presenza sia talmente impercettibile che la coscienza finisce per essere dominata dal flusso continuo dei contenuti della mente. Prima di muovere oltre, dobbiamo affrontare questa natura elusiva del sé e decidere in merito alle sue conseguenze. Esiste davvero un sé, o non esiste? E in caso affermativo, è presente ogniqualvolta noi siamo coscienti, oppure no?

Le risposte sono inequivocabili. Un sé esiste davvero, tuttavia si tratta di un processo, non di una cosa; e il processo è sempre presente quando si presume che noi siamo coscienti. Il processo del sé può essere considerato da due punti di vista. Uno è quello di un osservatore che coglie un *oggetto* dinamico costituito da particolari meccanismi della mente, particolari aspetti del comportamento e una particolare storia di vita. L'altro punto di osservazione è quello del sé *conoscitore* (ovvero soggetto della conoscenza): il processo che dà un centro alle nostre esperienze e ci permette infine di riflettere su di esse. La combinazione dei due punti di vista genera la du-

plice nozione del sé che sarà utilizzata in tutto questo libro. Come vedremo, le due nozioni corrispondono a due diversi stadi dello sviluppo evolutivo del sé, giacché il sé-soggetto ha tratto origine dal sé-oggetto. Nella vita quotidiana, ciascuna nozione corrisponde a un livello diverso di operazione della mente cosciente: il sé-oggetto ha una portata più limitata del sé-soggetto.

Quale che sia il punto di osservazione, la portata, l'intensità e le manifestazioni del processo variano a seconda delle circostanze. Il sé può operare su un registro appena percettibile, come «un accenno appena intuito» della presenza di un organismo vivente,[6] oppure su un registro ben più vistoso che include la personalità e l'identità del proprietario della mente. Il mio modo di riassumere tutto questo è che a volte se ne è consapevoli e a volte no, ma lo si *sente* sempre.

James pensava che il sé-oggetto, il mio sé materiale, fosse la somma totale di tutto ciò che un uomo può chiamare suo: «non solo il corpo e le facoltà psichiche, ma anche i vestiti, la moglie e i figli, gli antenati e gli amici, la reputazione e le opere, le terre e i cavalli, lo yacht e il conto in banca».[7] A parte le violazioni della *political correctness*, sono d'accordo; James però pensava anche qualcos'altro – qualcosa su cui mi trovo ancora più d'accordo. Se la mente può sapere che tali domini – il corpo, la mente, il passato, il presente e tutto il resto – esistono e appartengono al suo stesso proprietario è perché la percezione di ciascuna di queste cose genera emozioni e sentimenti e, a loro volta, i sentimenti realizzano la separazione fra i contenuti che appartengono al sé e quelli che non gli appartengono. Dalla mia prospettiva, questi sentimenti operano come *marcatori*: sono i segnali, basati sulle emozioni, che ho designato come «marcatori somatici».[8] Quando i contenuti pertinenti al sé si presentano nel flusso mentale, provocano la comparsa di un marcatore, che si unisce a quel flusso come immagine giustapposta a quella che l'ha stimolata. Questi sentimenti realizzano una distinzione fra sé e non sé. Essi so-

no, in breve, *sentimenti di conoscenza.* Come vedremo, la costruzione di una mente cosciente dipende, a diversi stadi, dalla generazione di tali sentimenti. La mia definizione operativa del sé materiale, del sé-oggetto, è la seguente: *un insieme dinamico di processi neurali integrati, centrati sulla rappresentazione del corpo in quanto organismo vivente, che trova espressione in un insieme dinamico di processi mentali integrati.*

Il sé-soggetto – in particolare come soggetto della conoscenza, come «io» – è una presenza più elusiva, di gran lunga meno coesa in termini mentali o biologici dell'io-oggetto, più dispersa, spesso dissolta nel flusso della coscienza, a volte così fastidiosamente impercettibile da esserci... ma quasi no. Il sé come soggetto e conoscitore è indiscutibilmente più difficile da cogliere del semplice sé-oggetto. Questo però non ne diminuisce l'importanza per la coscienza. Il sé come soggetto e conoscitore non è soltanto una presenza molto reale; esso rappresenta un punto di svolta nell'evoluzione biologica. Possiamo immaginarlo sovrapposto, per così dire, al sé-oggetto, come un nuovo strato di processi neurali che dà origine a un ulteriore strato di elaborazione mentale. Non vi è alcuna dicotomia fra il sé-oggetto e il sé-soggetto-della-conoscenza: piuttosto, vi è continuità e progressione. Il sé-soggetto si fonda sul sé-oggetto.

La coscienza non riguarda soltanto le immagini presenti nella mente. Come minimo, essa riguarda *un'organizzazione dei contenuti della mente che hanno il loro centro nello stesso organismo che li produce e dà loro motivazione.* La coscienza, d'altra parte, intesa nell'accezione di cui il lettore e l'autore possono fare esperienza ogni volta che lo desiderano, è più di una mente organizzata sotto l'influenza di un organismo che vive e agisce. È anche una mente in grado di sapere che un tale organismo vivente e agente esiste. Di certo, il fatto che il cervello riesca a creare configurazioni neurali che mappano gli oggetti speri-

mentati come immagini è una parte importante del processo della coscienza. Anche l'orientamento delle immagini nella prospettiva dell'organismo fa parte del processo. Questo, tuttavia, non equivale a *sapere*, in modo automatico ed esplicito, che le immagini esistono dentro di me, sono mie e – per usare il gergo attuale – sono agibili. La semplice presenza di immagini organizzate che scorrono in un flusso mentale basta a produrre una mente; se però non viene aggiunto un qualche processo supplementare, quella mente rimane *incosciente*. Ciò che le manca è un *sé*. Per diventare cosciente, il cervello deve acquisire una nuova proprietà, la *soggettività*; e un tratto definitorio della soggettività è proprio il sentimento che pervade le immagini sperimentate in modo soggettivo. Il lettore troverà in *The Mystery of Consciousness* di John Searle,[9] una trattazione moderna dell'importanza della soggettività, vista dalla prospettiva della filosofia.

In linea con quest'idea, il passo decisivo nella creazione della coscienza non è la formazione di immagini né la creazione delle basi di una mente. Il passo decisivo sta nel *fare nostre le immagini*, nel farle appartenere ai loro legittimi proprietari, ossia ai singoli organismi, perfettamente delimitati, nei quali esse emergono. Tanto nella prospettiva dell'evoluzione quanto in quella autobiografica, il sé soggetto della conoscenza affiora per gradi: dapprima il proto-sé con i suoi sentimenti primordiali; poi il sé nucleare, guidato dall'azione; e infine il sé autobiografico, che incorpora dimensioni sociali e spirituali. D'altra parte questi sono tutti processi dinamici, non entità rigide, e ogni giorno il loro livello fluttua (passando da semplice a complesso a intermedio) e può essere prontamente regolato come impongono le circostanze. Affinché la mente diventi cosciente, il cervello deve generare un soggetto di conoscenza, comunque lo si voglia chiamare: sé, soggetto dell'esperienza, protagonista. Nel momento in cui il cervello riesce a introdurlo nella mente, ecco che emerge la soggettività.

Al lettore che si interrogasse sulla necessità di questa

difesa del sé, risponderò che è assolutamente giustificata. In questo preciso istante, i neuroscienziati il cui lavoro mira a delucidare la coscienza hanno nei confronti del sé posizioni molto diverse, che spaziano dal considerarlo come un argomento indispensabile della ricerca, al pensare che i tempi non siano ancora maturi per affrontarlo.[10] Considerando che la ricerca associata a entrambe le posizioni continua a fornire idee utili, per adesso non vi è alcun bisogno di decidere quale approccio si rivelerà più soddisfacente. Dobbiamo tuttavia ammettere che essi producono descrizioni diverse.

Nel frattempo, vale la pena di notare che questi due atteggiamenti perpetuano la stessa differenza di interpretazione che separava William James da David Hume: una differenza che peraltro, in genere, viene trascurata in queste discussioni. James desiderava assicurarsi che le proprie idee sul sé avessero una solida base biologica: il suo «sé» non doveva essere scambiato per un agente di conoscenza metafisico. Questo tuttavia non gli impedì di riconoscere al sé una funzione conoscitiva, anche quando essa, lungi dall'essere troppo prominente, era invece impercettibile. David Hume, d'altro canto, polverizzava il sé al punto da farne a meno. I seguenti passaggi illustrano le sue posizioni: «Non riesco mai a sorprendere *me stesso* senza una percezione e a cogliervi altro che la percezione». E più avanti: «... oso affermare che per il resto dell'umanità noi non siamo altro che fasci o collezioni di differenti percezioni che si susseguono con una inconcepibile rapidità, in un perpetuo flusso e movimento».[11]

Commentando il modo in cui Hume liquidava il sé, James fu spinto a formulare un memorabile rimprovero in cui riaffermò l'esistenza del sé enfatizzando la curiosa miscela di «unità e diversità» presente al suo interno e richiamando l'attenzione sul «nucleo di identità» che ne pervade le componenti.[12]

Filosofi e neuroscienziati hanno modificato ed espanso le fondamenta qui discusse fino a includere diversi aspetti del sé.[13] L'importanza di quest'ultimo ai fini della

costruzione della mente cosciente, però, non ne è uscita ridotta. Dubito che sia possibile delucidare in modo completo la base neurale della mente cosciente senza prima descrivere il sé-oggetto – l'io materiale – e il sé conoscitore, il sé-soggetto della conoscenza.

La moderna ricerca nei campi della filosofia della mente e della psicologia ha ampliato l'eredità concettuale, mentre lo straordinario sviluppo della biologia generale, della biologia evoluzionista e delle neuroscienze ha capitalizzato l'eredità sul versante neurale, producendo una gran varietà di tecniche per studiare il cervello e raccogliendo una massa colossale di dati. Le informazioni, le congetture e le ipotesi presentate all'interno del libro si fondano su tutti questi sviluppi.

IL SÉ COME TESTIMONE

Per milioni di anni infinite creature hanno posseduto una mente attiva, ma l'esistenza della mente è stata riconosciuta solo in quelle che svilupparono un sé in grado di operare da testimone; e solo dopo che le menti svilupparono un linguaggio e sopravvissero per raccontarlo l'esistenza della mente divenne un fatto ampiamente noto. Il sé testimone è un qualcosa di extra che rivela, in ciascuno di noi, eventi che chiamiamo «mentali». Dobbiamo capire come venga creato quel qualcosa di extra.

I concetti di «testimone» e «protagonista» non vanno intesi come mere metafore letterarie; spero piuttosto che aiutino a illustrare la gamma di ruoli che il sé assume nella mente. Tanto per cominciare, le metafore possono aiutarci a visualizzare la situazione che abbiamo di fronte quando cerchiamo di comprendere i processi mentali. Una mente è pur sempre una mente, anche senza la testimonianza di un sé protagonista; tuttavia, poiché esso è il nostro unico mezzo naturale per conoscere la mente, noi dipendiamo in tutto e per tutto dalla

sua presenza, dalle sue capacità e dai suoi limiti. Considerando questa sistematica dipendenza, immaginare la natura dei processi mentali a prescindere dal sé è dunque difficilissimo, anche se – da una prospettiva evolutiva – è evidente che i processi del sé sono stati preceduti da processi mentali più semplici. Il sé permette di visualizzare la mente, seppure in modo nebuloso. Gli aspetti del sé che ci consentono di formulare interpretazioni sulla nostra esistenza e sul mondo stanno tuttora evolvendo: di sicuro a livello culturale e, con ogni probabilità, anche a livello biologico. Le prestazioni superiori del sé, per esempio, si stanno ancora modificando attraverso ogni genere di interazione sociale e culturale, e anche grazie all'accumulo di conoscenze scientifiche sul funzionamento di mente e cervello. Di sicuro un intero secolo di cinema ha avuto un impatto sul sé degli esseri umani, così come lo sta avendo lo spettacolo delle società globalizzate oggi trasmesso dai media elettronici in tempo reale. L'impatto della rivoluzione digitale è qualcosa che stiamo cominciando ad apprezzare soltanto ora. In breve, la nostra unica possibilità di contemplare in modo diretto la mente dipende da qualcosa che fa parte di quella stessa mente: da un processo del sé che – come abbiamo buone ragioni di ritenere – non può fornire una descrizione esaustiva e attendibile degli eventi in corso.

D'acchito, dopo aver riconosciuto che il sé è il nostro punto di ingresso nella conoscenza, può sembrare paradossale, per non dire spiacevole, metterne in dubbio l'attendibilità. E d'altra parte, la situazione è questa. A eccezione della finestra che il sé apre direttamente sui nostri dolori e i nostri piaceri, le informazioni che esso fornisce devono essere poste in discussione, a maggior ragione quando riguardano la sua natura. In tutto questo, però, vi è anche un aspetto positivo: il sé ha infatti reso possibili la ragione e l'osservazione scientifica, le quali a loro volta hanno gradualmente corretto tutte le intuizioni fuorvianti incoraggiate dal sé abbandonato alle sue sole risorse.

Si può affermare che le culture e le civiltà non sarebbero mai comparse in assenza di coscienza, il che fa di essa un importante sviluppo nell'evoluzione biologica. La natura stessa della coscienza pone tuttavia seri problemi a chi cerca di chiarirne la biologia. Considerare la coscienza dal punto d'osservazione in cui ci troviamo oggi noi, creature dotate di mente e armate di un sé, costituisce un approccio a cui si può imputare la presenza, negli studi sulla storia della mente e della coscienza, di una distorsione preoccupante anche se comprensibile. Contemplata dall'alto, la mente acquista uno status speciale, discontinuo rispetto al resto dell'organismo cui appartiene. Vista da quella prospettiva, essa sembra non soltanto molto complessa – cosa che certamente è –, ma anche qualitativamente diversa dalle strutture e dalle funzioni biologiche dell'organismo che la possiede. In pratica, quando osserviamo noi stessi, adottiamo due ottiche diverse: vediamo la mente con occhi rivolti verso l'interno; e vediamo i tessuti biologici con occhi rivolti verso l'esterno (e come se non bastasse, ci serviamo di microscopi per estendere la nostra visione). In tali circostanze, non c'è da sorprendersi se la mente sembra possedere una natura non fisica e i suoi fenomeni paiono appartenere a un'altra categoria.

Il fatto di considerare la mente come un fenomeno non fisico e discontinuo rispetto alla biologia che la crea e la sostiene è responsabile del nostro averla collocata al di fuori delle leggi della fisica: una discriminazione, questa, alla quale gli altri fenomeni cerebrali di solito non sono soggetti. La manifestazione più impressionante di questa singolarità è il tentativo di connettere la mente cosciente a proprietà della materia non ancora descritte, come quando si cerca di spiegare la coscienza in termini di fenomeni quantici. Sembra che la base razionale di questa idea sia la seguente: poiché la mente cosciente pare misteriosa e poiché la fisica quantistica

rimane anch'essa misteriosa, forse i due misteri sono connessi.[14]

Considerando quanto siano incomplete le nostre conoscenze della biologia e della fisica, occorre procedere con cautela prima di liquidare spiegazioni alternative. In fondo, pur con tutti i notevoli successi della neurobiologia, la nostra comprensione del cervello umano è decisamente lacunosa. Nondimeno, la possibilità di spiegare la mente e la coscienza adottando il principio di parsimonia, mantenendosi cioè all'interno dei confini della neurobiologia così come essa è attualmente concepita, resta aperta e non dovrebbe essere abbandonata, a meno che le risorse tecnologiche e teoriche di questa disciplina non finiscano per esaurirsi: prospettiva al momento remota.

Secondo la nostra intuizione, l'attività erratica e fugace della mente mancherebbe di un'estensione fisica. Io credo che questa intuizione sia falsa e debba essere attribuita alle limitazioni del sé abbandonato alle sue sole risorse. Non vedo ragione alcuna per darle maggior credito di altre intuizioni, un tempo potenti e persuasive, come la visione precopernicana del comportamento del Sole nei confronti della Terra, o – per avvicinarci a temi che ci interessano – l'idea che la mente risiedesse nel cuore. Le cose non sono sempre come sembrano. La luce bianca è composta dai colori dell'arcobaleno anche se, a occhio nudo, la cosa non è affatto evidente.[15]

UNA PROSPETTIVA INTEGRATA

Gran parte dei progressi compiuti finora nel campo della neurobiologia della mente dotata di coscienza sono basati sulla combinazione di tre prospettive: 1) la prospettiva del testimone diretto della singola mente cosciente, la quale è personale, privata e unica per ciascu-

no di noi; 2) la prospettiva comportamentale, che ci consente di osservare le azioni rivelatrici di altri individui che, come abbiamo ragione di credere, sono anch'essi dotati di una mente cosciente; e 3) la prospettiva del cervello, che ci permette di studiare alcuni aspetti della funzione cerebrale in individui nei quali si presume l'assenza o la presenza di stati mentali coscienti. Di solito, anche se allineate con intelligenza, le informazioni raccolte avvalendosi di queste tre prospettive – l'esame introspettivo, in prima persona; i comportamenti osservabili dall'esterno; gli eventi cerebrali – non bastano a produrre una transizione senza scosse fra i tre tipi di fenomeni. In particolare, sembra esistere uno iato fondamentale fra i dati derivanti dall'introspezione in prima persona e quelli riconducibili agli eventi cerebrali. Come possiamo colmare questi abissi?

Occorre una quarta prospettiva, che impone di mutare radicalmente il modo di considerare e raccontare la storia della mente cosciente. In alcuni miei lavori precedenti, ho proposto di considerare la regolazione dei processi vitali quale supporto e giustificazione del sé e della coscienza, e quest'idea ha indicato una via verso una nuova prospettiva: la ricerca dei precursori del sé e della coscienza nel passato evolutivo.[16] La quarta prospettiva si fonda quindi su dati attinti dalla biologia evolutiva e dalla neurobiologia. Essa ci impone di considerare dapprima gli organismi più antichi, e poi di percorrere gradualmente la storia evolutiva fino ad arrivare a quelli attuali. Richiede anche di prendere nota delle piccole modificazioni progressive che interessano il sistema nervoso, e di metterle in relazione con l'emergere – pure progressivo – del comportamento, della mente e del sé. Infine, richiede anche un'ipotesi di lavoro interna: e cioè che gli eventi mentali siano equivalenti a certi tipi di eventi cerebrali. Certo, l'attività mentale è causata da eventi cerebrali che la precedono, ma in ultima analisi gli eventi mentali corrispondono a particolari stati dei circuiti cerebrali. In altre parole, alcune configurazioni

neurali *sono* simultaneamente immagini mentali. Quando poi alcune altre configurazioni neurali generano un soggetto del processo del sé sufficientemente ricco, ecco che le immagini possono essere *conosciute*. Ma quand'anche non venisse generato alcun sé, le immagini ci *sarebbero ancora*, sebbene nessuno – all'interno o all'esterno dell'organismo – saprebbe della loro esistenza. Non occorre la soggettività affinché gli stati mentali possano esistere, ma solo affinché se ne possa avere una conoscenza privata.

In breve, la quarta prospettiva ci chiede di costruire, in modo simultaneo e con l'aiuto dei dati disponibili, una visione dal passato e dall'interno: letteralmente, la visione immaginata di un cervello còlto mentre contiene una mente cosciente. Di certo si tratta di una prospettiva ipotetica che ha il carattere della congettura. Vi sono fatti che corroborano in parte questa immaginazione; peraltro, il fatto di dover convivere a lungo con approssimazioni teoriche invece che con spiegazioni complete è nella natura stessa del «problema mente-sé-corpo-cervello».

Si potrebbe cedere alla tentazione di considerare l'equivalenza ipotizzata fra gli eventi mentali e alcuni eventi cerebrali come espressione di un rozzo riduzionismo che porta a semplificare ciò che è complesso. Sarebbe tuttavia una falsa impressione; infatti basta considerare che i fenomeni neurobiologici sono immensamente complessi: tutto fuorché semplici. Le riduzioni esplicative implicate qui non vanno dal complesso al semplice, ma piuttosto dall'estremamente complesso al leggermente meno complesso. Questo libro non verte sulla biologia degli organismi semplici; i dati a cui accennerò nel capitolo 2, tuttavia, chiariscono che la vita delle cellule ha luogo in universi estremamente complessi, i quali per molti aspetti ricordano esteriormente il nostro elaborato universo umano. Il comportamento di un organismo unicellulare come un paramecio e il mondo in cui esso vive sono spet-

tacoli meravigliosi da contemplare, e molto più vicini alla nostra essenza di quanto possa sembrare.

C'è anche la tentazione di interpretare l'equivalenza mente-cervello qui proposta come un atteggiamento che porta a trascurare il ruolo della cultura nella genesi della mente, o a sminuire l'importanza dello sforzo individuale nel dar forma alla mente. Come chiarirò nel seguito, nulla potrebbe essere più lontano dal mio approccio.

Avvalendomi della quarta prospettiva, posso ora riformulare alcune delle mie precedenti affermazioni, tenendo conto dei dati ricavati dalla biologia dell'evoluzione e includendo il cervello: per milioni di anni, infinite creature hanno avuto nel proprio *cervello* una mente attiva; la coscienza in senso stretto, però, emerse solo dopo che quei *cervelli* ebbero sviluppato un protagonista in grado di fare da testimone, e fu solo dopo che quei *cervelli* svilupparono il linguaggio che l'esistenza della mente divenne generalmente nota. Il testimone è quel qualcosa di extra che rivela la presenza di eventi *cerebrali* impliciti che noi chiamiamo «mentali». Comprendere in che modo il cervello produca quel qualcosa di extra – come generi il protagonista che ci portiamo appresso e chiamiamo sé (o me, o io) – è un obiettivo fondamentale della neurobiologia della coscienza.

IL QUADRO CONCETTUALE

Prima di tratteggiare il quadro concettuale che ispira questo libro, devo introdurre alcuni fatti fondamentali. Gli organismi generano la mente grazie all'attività di cellule speciali – i neuroni – che condividono moltissime caratteristiche con le altre cellule del nostro corpo; il loro funzionamento, tuttavia, è unico. Esse sono sensibili ai cambiamenti nell'ambiente circostante; inoltre, sono eccitabili (un'interessante proprietà che hanno in comune con le cellule muscolari). Grazie a un prolunga-

mento fibroso (l'assone) e alla regione terminale di quest'ultimo (la sinapsi), i neuroni possono inviare, spesso a notevole distanza, i loro segnali ad altre cellule: sia ad altri neuroni, sia alle cellule muscolari. I neuroni sono in larga misura concentrati nel sistema nervoso centrale (per essere sintetici, diremo nel cervello); inviano però segnali sia al corpo dell'organismo sia al mondo esterno, e ricevono segnali da entrambi.

Il numero di neuroni in un cervello umano è nell'ordine dei miliardi, e i loro reciproci contatti sinaptici ammontano a milioni di miliardi. I neuroni sono organizzati in piccoli circuiti microscopici i quali, combinandosi, costituiscono circuiti progressivamente più estesi, che a loro volta formano reti o sistemi. Per ulteriori approfondimenti sui neuroni e sull'organizzazione cerebrale, si vedano il capitolo 2 e l'Appendice.

La mente emerge quando l'attività dei piccoli circuiti viene organizzata in grandi reti dando luogo a configurazioni temporanee, le quali rappresentano oggetti ed eventi che si trovano fuori dal cervello, nel corpo o nel mondo esterno; alcune configurazioni, però, rappresentano anche l'elaborazione, da parte del cervello, di altre configurazioni. Il termine *mappa* si applica a tutte queste rappresentazioni, alcune delle quali sono grossolane, mentre altre sono molto fini, alcune concrete, altre astratte. In breve, il cervello traccia delle mappe sia del mondo circostante, sia dei propri stessi processi. Nella nostra mente, quelle mappe vengono esperite come *immagini*, e qui il termine *immagine* si riferisce non solo alla modalità visiva, ma a qualsiasi canale sensoriale: uditivo, viscerale, tattile, eccetera.

Consideriamo ora il vero e proprio quadro generale. Usare il termine *teoria* per descrivere altrettante proposte circa il modo in cui il cervello produce questo o quel fenomeno è un po' fuori luogo. A meno che la scala non sia sufficientemente ampia, nella maggior parte dei casi

le teorie sono in realtà semplici ipotesi. Quanto viene proposto in questo libro, invece, è qualcosa di più, poiché connette diverse componenti ipotetiche riferite all'uno o all'altro aspetto dei fenomeni di cui mi occuperò. Quello che speriamo di spiegare è troppo complesso per essere affrontato con una singola ipotesi e per essere giustificato da un unico meccanismo. Per questo motivo ho deciso di utilizzare l'espressione «quadro concettuale».

Per poter rientrare in questa categoria superiore le idee presentate nei prossimi capitoli devono centrare alcuni obiettivi. Poiché noi desideriamo comprendere in che modo il cervello doti la mente di una coscienza, ed essendo palese l'impossibilità di costruire una spiegazione affrontando tutti i livelli della funzione cerebrale, il quadro generale deve specificare a quale livello si applica la spiegazione. Questo è il livello dei sistemi su grande scala, il livello in corrispondenza del quale le regioni cerebrali macroscopiche, costituite da circuiti neuronali, interagiscono con regioni simili per formare dei sistemi. Quei sistemi sono necessariamente macroscopici, tuttavia l'anatomia microscopica alla base di essi è in parte conosciuta, come pure sono in parte note le regole operative generali dei neuroni che li costituiscono. Il livello dei sistemi su grande scala può essere oggetto di ricerche condotte con numerose tecniche, vecchie e nuove. Esse comprendono, in primo luogo, la moderna versione del metodo delle lesioni (basato sullo studio di pazienti neurologici con danni cerebrali localizzati, indagati sia con tecniche di neuroimmagine strutturale, sia con tecniche cognitive neuropsicologiche sperimentali); in secondo luogo, tecniche di neuroimmagine funzionale (basate su scansioni eseguite con risonanza magnetica, tomografia a emissione di positroni, magnetoencefalografia e varie tecniche elettrofisiologiche); in terzo luogo, la registrazione neurofisiologica diretta dell'attività neuronale nel contesto delle terapie neurochirurgiche; infine, la stimolazione magnetica transcranica.

Il quadro concettuale deve stabilire un nesso fra il comportamento, la mente e gli eventi cerebrali. Nel realizzare questo secondo obiettivo, esso allinea comportamento, mente e cervello, e poiché si appoggia alla biologia evolutiva, colloca la coscienza in un contesto storico: una collocazione appropriata, considerando che gli organismi vanno incontro a trasformazioni evolutive per selezione naturale. In ciascun cervello, poi, la maturazione dei circuiti neuronali viene considerata soggetta a pressioni selettive risultanti dall'attività stessa degli organismi e dai processi di apprendimento: i repertori dei circuiti neuronali inizialmente messi a disposizione dal genoma sono quindi modificati di conseguenza.[17]

Il quadro concettuale indica – sulla scala del cervello *in toto* – la localizzazione delle regioni implicate nella creazione della mente e ipotizza in che modo alcune regioni cerebrali possano operare di concerto per generare il sé. Esso suggerisce come un'architettura cerebrale con circuiti neuronali convergenti e divergenti abbia un ruolo nel coordinamento di ordine superiore delle immagini e sia essenziale per la costruzione del sé e di altri aspetti della funzione mentale: in particolare la memoria, l'immaginazione, il linguaggio e la creatività.

Il nostro quadro deve scindere il fenomeno della coscienza in componenti tali da poter essere ricondotte alla ricerca neuroscientifica. Ne risultano due domini passibili di ricerca, e precisamente quello dei processi della mente e quello dei processi del sé (questi ultimi scomposti in sottotipi). Tale scomposizione comporta due vantaggi: la possibilità di presumere e studiare la coscienza in specie che probabilmente hanno processi del sé, per quanto meno complessi; e la possibilità di creare un ponte fra i livelli elevati del sé, da una parte, e lo spazio socioculturale in cui operano gli esseri umani, dall'altra.

Un ulteriore obiettivo è quello di capire come i macroeventi del sistema siano generati a partire dai microeventi. Qui il quadro concettuale ipotizza che gli stati mentali siano equivalenti a certi stati di attività cerebrale

regionale. Quando la scarica neuronale ha luogo all'interno di determinati range di intensità e frequenza in piccoli circuiti neuronali; quando alcuni di tali circuiti sono attivati simultaneamente; e quando sono soddisfatte particolari condizioni di connettività di rete, si assume che il risultato sia una «mente con sensazioni e sentimenti». In altre parole, come conseguenza delle dimensioni crescenti e dell'aumento di complessità delle reti neurali, si ha un aumento proporzionale della «cognizione» e del «sentire», passando dal microlivello al macrolivello di un contesto gerarchico. Il modello di questo passaggio alla mente con sentimenti è rintracciabile nella fisiologia del movimento: la contrazione di una singola cellula muscolare microscopica è un fenomeno trascurabile, mentre la contrazione simultanea di un gran numero di cellule muscolari può produrre un movimento visibile.

ANTEPRIMA DELLE IDEE PRINCIPALI

I

Fra le idee proposte nel libro, nessuna è più importante di questo concetto: il corpo è un fondamento della mente dotata di coscienza. Sappiamo che gli aspetti più stabili delle funzioni corporee sono rappresentati nel cervello sotto forma di mappe, offrendo in tal modo alla mente delle immagini. Questa è la base dell'ipotesi secondo la quale le speciali immagini mentali del corpo, prodotte nelle strutture deputate alla sua mappatura, costituiscono il *proto-sé*, che prefigura il sé a venire. È importante notare come le strutture fondamentali che creano le mappe del corpo e le immagini siano localizzate a un livello subcorticale, precisamente in una regione nota come tronco encefalico superiore. Si tratta di

una parte antica del cervello, che condividiamo con molte altre specie.

II

Un'altra idea fondamentale è basata sul fatto, costantemente trascurato, che le strutture cerebrali alla base del proto-sé non si limitano a *riguardare* il corpo: sono letteralmente e inestricabilmente *connesse* a esso. Nello specifico, sono legate alle parti del corpo che, con i loro segnali, bombardano di continuo il cervello, dal quale ricevono un altrettanto continuo bombardamento di ritorno; si crea così un circuito risonante e perpetuo, interrotto soltanto da una patologia cerebrale o dalla morte. Corpo e cervello *sono legati.* Per questo motivo, le strutture del proto-sé hanno una relazione diretta e privilegiata con il corpo: le immagini che esse generano e che riguardano il corpo sono concepite in circostanze diverse rispetto ad altre immagini cerebrali, per esempio quelle visive o uditive. Alla luce di tutto ciò, il corpo può essere considerato come la roccia su cui è costruito l'edificio del proto-sé, mentre quest'ultimo è il perno intorno al quale ruota la mente dotata di coscienza.

III

Io ipotizzo che il primo e il più elementare prodotto del proto-sé sia rappresentato dai *sentimenti primordiali* che, quando siamo svegli, hanno sempre luogo, spontaneamente e continuamente. Essi ci forniscono un'esperienza diretta del nostro corpo – un corpo che vive – senza bisogno di parole, senza abbellimenti e senza legami se non quello con la pura e semplice esistenza. Questi *sentimenti primordiali* riflettono lo stato corrente del corpo rispetto a varie dimensioni – per esempio lungo la scala che va dal piacere al dolore – e originano nel tronco encefalico e non a livello corticale. Tutti i sentimenti

delle emozioni sono variazioni musicali complesse sul tema dei sentimenti primordiali.[18]

Nell'organizzazione funzionale qui tratteggiata, il dolore e il piacere sono eventi riguardanti il corpo. Essi sono *anche* mappati in un cervello che non è mai, in nessun istante, separato dal suo corpo. I sentimenti primordiali sono perciò un tipo speciale di immagine generato grazie all'interazione obbligata fra corpo e cervello, alle caratteristiche dei circuiti che realizzano quella connessione, e forse anche a certe proprietà dei neuroni. Non basta dire che i sentimenti sono sentiti perché mappano il corpo. Io ipotizzo che – oltre a intrattenere una relazione esclusiva con il corpo – l'apparato del tronco encefalico responsabile della produzione di quel particolare tipo di immagini che chiamiamo sentimenti sia in grado di miscelare i segnali provenienti dal corpo, creando in tal modo non mere, pedisseque mappe del corpo, ma stati complessi dotati delle proprietà, nuove e speciali, dei sentimenti. La ragione per la quale sono sentite anche immagini diverse dai sentimenti è che comunque, di norma, questi ultimi le *accompagnano.*

Tutto ciò implica la problematicità dell'idea di un netto confine di separazione fra corpo e cervello; suggerisce inoltre un approccio potenzialmente proficuo alla *vexata quaestio* riguardo al come e al perché gli stati mentali normali siano immancabilmente impregnati di una qualche forma di sentimento.

IV

Il cervello non comincia a costruire una mente cosciente a livello corticale, bensì nel tronco encefalico. I sentimenti primordiali non sono soltanto le prime immagini generate dal cervello, ma anche manifestazioni immediate della capacità di sentire. Essi sono le fondamenta del proto-sé, in preparazione dei livelli più complessi. Tutto questo è in contrasto con posizioni ampiamente accettate, sebbene idee simili siano state difese da

Jaak Panksepp (si veda più avanti) e anche da Rodolfo Llinás. La mente cosciente, così come la conosciamo, è tuttavia qualcosa di assai diverso da quella che emerge nel tronco encefalico, e con ogni probabilità su questo punto vi è un accordo universale. La corteccia cerebrale arricchisce la genesi della mente con una profusione di immagini che – come direbbe Amleto – va ben oltre qualsiasi cosa il povero Orazio possa sognare, in cielo o in terra.

La coscienza ha inizio quando il sé affiora alla mente, ossia quando il cervello aggiunge alla miscela della mente un processo del sé, dapprima modesto, poi molto più robusto. Il sé viene costruito in passaggi distinti, sulle fondamenta del *proto-sé*. Il primo passo è la genesi dei sentimenti primordiali: gli elementari sentimenti di esistenza che scaturiscono spontaneamente dal proto-sé. Successivamente affiora il *sé nucleare*, che riguarda l'azione: in particolare, una relazione fra l'organismo e l'oggetto. Il sé nucleare si dispiega in una sequenza di immagini che descrivono un oggetto mentre esso impegna e modifica il proto-sé (compresi i suoi sentimenti primordiali). Infine, vi è il *sé autobiografico*, definito in termini di conoscenza biografica attinente sia al passato sia all'anticipazione del futuro. Le molteplici immagini che nel loro complesso definiscono una biografia generano pulsazioni del sé nucleare che, nell'insieme, costituiscono un sé autobiografico.

Il proto-sé con i suoi sentimenti primordiali rappresenta insieme al sé nucleare un «io materiale». Il sé autobiografico, le cui vette più alte abbracciano tutti gli aspetti della persona sociale, costituisce un «io sociale» e un «io spirituale». Possiamo osservare questi aspetti del sé nella nostra mente, oppure studiarne gli effetti nel comportamento altrui. Il sé nucleare e il sé autobiografico, poi, costruiscono all'interno della mente un conoscitore, un soggetto di conoscenza; in altre parole, essi dotano la nostra mente di un altro tipo di soggettività. Ai fini pratici, la coscienza umana normale corrisponde

a un processo della mente in cui operano tutti questi diversi livelli del sé, offrendo a un numero limitato di contenuti mentali una temporanea connessione con una pulsazione del sé nucleare.

V

Il sé e la coscienza – a prescindere dal loro livello, solido o modesto che sia – *non hanno luogo* in un'unica area, regione o centro del cervello. La mente cosciente risulta dal funzionamento articolato e senza soluzione di continuità di alcuni siti cerebrali: più di uno, spesso molti. Le strutture cerebrali fondamentali deputate alla realizzazione dei necessari passaggi funzionali comprendono settori specifici del tronco encefalico superiore, un gruppo di nuclei del talamo e alcune regioni della corteccia cerebrale, specifiche ma diffuse.

Il prodotto ultimo della coscienza *scaturisce* allo stesso tempo da tutti quei numerosi siti cerebrali, e non da uno in particolare: proprio come l'esecuzione di un brano di musica sinfonica non scaturisce dall'impegno di un unico musicista né da quello di una sezione dell'orchestra. L'aspetto più singolare riguardo alle alte vette delle prestazioni della coscienza è la vistosa assenza, *prima* che l'esecuzione abbia inizio, di un direttore, il quale viene tuttavia in essere non appena l'esecuzione comincia: ora, a tutti i fini, l'orchestra è guidata da un direttore – il sé – anche se è la performance ad averlo creato, e non viceversa. Il direttore viene costruito dai sentimenti e da un dispositivo cerebrale preposto alla narrazione, benché questo non lo renda assolutamente meno reale. È innegabile che nella nostra mente il direttore esista, e non vi è nulla da guadagnare nel liquidarlo come un'illusione.

Il coordinamento da cui dipende la mente dotata di coscienza è ottenuto grazie a una molteplicità di mezzi. Al livello nucleare, più modesto, esso comincia in sordina, come uno spontaneo assemblaggio di immagini che

emergono una dopo l'altra in stretta prossimità temporale: da un lato l'immagine di un oggetto, e dall'altro l'immagine del proto-sé modificato da quell'oggetto. Per l'emergere del sé nucleare, a questo livello così semplice, non occorrono ulteriori strutture cerebrali. Il coordinamento avviene in modo spontaneo: a volte ricorda un semplice duo musicale eseguito dall'organismo e dall'oggetto, altre volte un ensemble cameristico – in entrambi i casi, comunque, funziona benissimo senza bisogno di un direttore d'orchestra. Ma quando i contenuti elaborati nella mente sono più numerosi, il coordinamento necessita di altri dispositivi. In quel caso, numerose regioni cerebrali subcorticali e corticali assumono un ruolo d'importanza primaria.

Costruire una mente capace da un lato di abbracciare il proprio passato vissuto e il proprio futuro anticipato, e dall'altro in grado anche di riflettere e di aggiungere alla trama del tessuto le vite degli altri, è un'impresa che, nelle proporzioni, ricorda l'esecuzione di una sinfonia mahleriana. L'autentica meraviglia, però, è che la partitura e il direttore – come ho accennato prima – diventano realtà solo nel momento in cui prende vita la musica. Il coordinamento non dipende da omuncoli mitici, creature sapienti incaricate di interpretare qualcosa. Eppure, i coordinatori contribuiscono effettivamente ad assemblare uno straordinario universo e a collocare al centro di esso un protagonista.

Quel grandioso brano sinfonico che è la coscienza comprende i contributi fondamentali del tronco encefalico, sempre legato al corpo, e il repertorio di immagini – *più vasto del cielo* –[19] creato in cooperazione con la corteccia cerebrale e le strutture subcorticali, tutte armoniosamente unite e impegnate in un flusso incessante, interrotto soltanto dal sonno, dall'anestesia, dalla disfunzione cerebrale o dalla morte.

Non vi è un singolo meccanismo che spieghi l'emergere della coscienza nel cervello: nessun singolo dispositivo, nessuna singola regione, o caratteristica, nessun

espediente – non più di quanto una sinfonia possa essere suonata da un unico musicista o da un piccolo gruppo. Occorrono molti orchestrali, invece: è importante il contributo di ciascuno di essi – ma solo l'ensemble produce il risultato che stiamo cercando di spiegare.

VI

Fra i risultati riconoscibili della coscienza vi è la capacità di gestire e salvaguardare in modo efficiente la vita e i suoi processi: i pazienti neurologici la cui coscienza è compromessa non sono in grado di gestire la propria vita in modo indipendente neanche quando le loro funzioni vitali fondamentali sono normali. E tuttavia i meccanismi per la gestione e il mantenimento dei processi vitali non sono elementi nuovi nell'evoluzione biologica, e non dipendono necessariamente dalla coscienza. Essi infatti esistono già nelle singole cellule, e sono codificati nel loro genoma; sono anche replicati all'interno di antichi, semplici circuiti neuronali – *non* dotati di mente, *non* dotati di coscienza – e sono generosamente rappresentati nel cervello umano. Vedremo che la gestione e la salvaguardia della vita è la fondamentale premessa del valore biologico, il quale ha influenzato l'evoluzione delle strutture cerebrali e influenza quasi ogni livello delle operazioni del singolo cervello. Il valore biologico si esprime in modo semplice, per esempio nella liberazione di molecole associate a ricompense e punizioni, oppure in modo più elaborato, per esempio nel caso delle nostre emozioni sociali e nel ragionamento sofisticato. Il valore biologico, per così dire, guida e caratterizza in modo naturale quasi tutto ciò che accade nel nostro cervello, dotato in modo tanto vistoso di mente e coscienza. Il valore biologico ha lo status di un principio.

In breve, la mente cosciente emerge nella storia della regolazione della vita – un processo dinamico sinteticamente indicato con il termine di *omeostasi* –, la quale ha inizio in creature unicellulari come i batteri o le semplici

amebe, che pur non avendo un cervello sono capaci di comportamenti adattativi. Prosegue poi in individui il cui comportamento è controllato da un cervello semplice (per esempio i vermi) e continua la sua marcia negli individui il cui cervello genera sia il comportamento, sia i processi della mente (gli insetti e i pesci sono un esempio di questo livello). Sono pronto a credere che ogniqualvolta un cervello comincia a generare sentimenti primordiali – il che potrebbe aver luogo molto presto nella storia evolutiva – gli organismi acquisiscano una primordiale capacità di sentire. Da quel momento in poi può svilupparsi, ed essere aggiunto alla mente, un processo organizzato del sé e ciò fornisce il germe di una mente cosciente complessa. I rettili, per esempio, sono buoni candidati per questo privilegio – e gli uccelli sono candidati ancor più convincenti; quanto ai mammiferi, si aggiudicano il premio spingendosi anche oltre.

Nella maggior parte dei casi, le specie il cui cervello genera un sé si fermano al livello del sé nucleare. Gli esseri umani hanno tanto il sé nucleare, quanto il sé autobiografico. È probabile che li abbiano entrambi anche alcuni altri mammiferi, per esempio i lupi, le scimmie antropomorfe nostre cugine, i mammiferi marini, gli elefanti, i felini e – naturalmente – una specie che fa storia a sé: il cane domestico.

VII

La marcia del progresso della mente non si arresta con la comparsa dei livelli più modesti del sé. Per tutta l'evoluzione dei mammiferi, in particolare dei primati, la mente diventa sempre più complessa: memoria e ragionamento si espandono notevolmente, e la portata dei processi del sé va aumentando. Sebbene persista, il sé nucleare viene a poco a poco inglobato da un sé autobiografico la cui natura – neurale e mentale – è molto diversa. Noi acquisiamo la capacità di usare una parte dei meccanismi della nostra mente per monitorare il fun-

zionamento delle altre sue parti. La mente cosciente degli esseri umani – armata di sé tanto complessi e sostenuta da capacità di memoria, ragionamento e linguaggio ancora più robuste – genera gli strumenti della cultura e apre la strada a nuovi mezzi di omeostasi sociale e culturale. Compiendo un salto straordinario, l'omeostasi si guadagna così un'estensione nello spazio socioculturale. I sistemi giuridici, le organizzazioni politiche ed economiche, le arti, la medicina e la tecnologia sono altrettanti esempi dei nuovi strumenti di regolazione.

Senza l'omeostasi socioculturale non avremmo assistito alla drastica riduzione della violenza e al simultaneo aumento della tolleranza, tanto evidenti negli ultimi secoli. Né vi sarebbe stata la graduale transizione dal potere coercitivo al potere della persuasione che contraddistingue – a prescindere dai loro fallimenti – i sistemi sociali e politici avanzati. L'indagine sull'omeostasi socioculturale può attingere informazioni dalla psicologia e dalle neuroscienze, ma le radici dei suoi fenomeni affondano in uno spazio culturale. Chi studia le sentenze della Corte Suprema degli Stati Uniti, le decisioni del Congresso o i meccanismi delle istituzioni finanziarie può ragionevolmente essere considerato, indirettamente, alle prese con lo studio delle stravaganze dell'omeostasi socioculturale.

Sia l'omeostasi a livello fondamentale (guidata da processi non coscienti), sia l'omeostasi socioculturale (creata e guidata da menti riflessive dotate di coscienza) operano come amministratori del valore biologico. Le varietà dell'omeostasi – a entrambi i livelli, fondamentale e socioculturale – sono separate da miliardi di anni di evoluzione e tuttavia, sebbene in nicchie ecologiche differenti, perseguono il medesimo obiettivo: la sopravvivenza degli organismi. Nel caso dell'omeostasi socioculturale, quell'obiettivo si è ampliato fino ad abbracciare la ricerca *deliberata* del benessere. Va da sé che il modo in cui il cervello umano gestisce la vita richiede che entrambe le varietà di omeostasi interagiscano continuamente. Tuttavia, mentre la varietà fondamentale del-

l'omeostasi è un'eredità prefissata fornita dal genoma, la varietà socioculturale è un fragile *work in progress* responsabile di gran parte della drammaticità, della follia e della speranza insite nella vita umana. L'interazione fra questi due tipi di omeostasi non è confinata al singolo individuo. Dati sempre più numerosi e convincenti indicano che, nell'arco di numerose generazioni, gli sviluppi culturali inducono modificazioni del genoma.

VIII

Considerare la mente cosciente in un'ottica evolutiva, passando da semplici forme di vita a organismi ipercomplessi come noi, aiuta a collocarla in un contesto naturale e dimostra che essa deriva da un graduale aumento di complessità nell'idioma della biologia.

Noi possiamo considerare la coscienza umana e le funzioni che essa ha reso possibili (il linguaggio, la memoria espansa, il ragionamento, la creatività, l'intero edificio della cultura) come gli amministratori del valore insito nel nostro essere creature moderne, generosamente dotate di funzioni mentali e fortemente sociali. Possiamo anche immaginare un lungo cordone ombelicale che leghi la mente cosciente, a malapena svezzata, perennemente dipendente, agli strati profondi dei regolatori del principio di valore, i quali si trovano a un livello molto elementare, senz'altro *non* cosciente.

La storia della coscienza non può essere raccontata nel modo convenzionale. La coscienza è venuta in essere grazie al valore biologico, come un'aggiunta in grado di contribuire a una sua più efficace gestione. Non fu la coscienza, tuttavia, a *inventare* il valore biologico o il processo di valutazione. Alla fine, nella mente umana, la coscienza rivelò il valore biologico e consentì lo sviluppo di nuovi modi e mezzi di gestirlo.

È ragionevole dedicare un libro alle modalità con cui il cervello crea una mente cosciente? Chiedersi se la comprensione del lavoro cerebrale alla base della mente e del sé abbia una qualsiasi rilevanza pratica, oltre a soddisfare la nostra curiosità sulla natura umana, è cosa ragionevole. Ma nella vita quotidiana tutto questo comporta una qualche differenza? Per molte ragioni, grandi e piccole, io credo di sì. La scienza che studia il cervello e le spiegazioni che essa fornisce non offrono a tutti la soddisfazione che molti ricavano dall'esperienza dell'arte o dall'esercizio della spiritualità. Vi sono tuttavia di sicuro altre gratificazioni.

Forse comprendere le circostanze in cui, nella storia della vita, è emersa la mente cosciente, e in particolare il modo in cui essa si è sviluppata nella storia umana, ci permette di giudicare in modo più saggio la qualità della conoscenza e dei consigli che quella mente ci offre. Si tratta di una conoscenza attendibile? I suoi consigli sono ragionevoli? Quando comprendiamo i meccanismi che sono alla base della mente – quella stessa mente che ci offre i suoi consigli –, guadagniamo qualcosa?

La delucidazione dei meccanismi neurali alla base della mente cosciente rivela che il nostro sé non è sempre ragionevole e non ha sempre il controllo di ogni decisione. D'altra parte, i dati di cui disponiamo ci autorizzano anche a respingere la falsa impressione che la nostra capacità di deliberare coscientemente sia un mito. Chiarire i processi mentali, consci e inconsci che siano, aumenta la possibilità di rendere più robuste le nostre capacità di pensiero. Il sé apre la strada alla speculazione e all'avventura della scienza, due strumenti specifici grazie ai quali è possibile contrastare la guida fuorviante del sé abbandonato alle sue sole risorse.

Arriverà il momento in cui la questione della responsabilità umana – sia in termini morali generali, sia sui temi della giustizia e delle sue applicazioni – prenderà in

considerazione la disciplina, in evoluzione, che si occupa dello studio scientifico della coscienza. Forse quel momento è arrivato. Armata del pensiero riflessivo e degli strumenti scientifici, una comprensione della costruzione neurale della mente cosciente aggiunge una opportuna dimensione all'indagine sullo sviluppo e sulla formazione delle culture, prodotto ultimo delle collettività di menti coscienti. Mentre gli esseri umani dibattono circa i benefici o i rischi delle tendenze culturali, e su sviluppi quali la rivoluzione digitale, essere informati sul modo in cui il nostro cervello tanto flessibile crea la coscienza può essere d'aiuto. La progressiva globalizzazione della coscienza umana causata dalla rivoluzione digitale, per esempio, conserverà gli obiettivi e i princìpi dell'omeostasi fondamentale come li conserva l'attuale omeostasi socioculturale? Oppure, nel bene e nel male, essa si staccherà dal suo cordone ombelicale evolutivo?[20]

Ricondurre la mente cosciente alla natura radicandola saldamente nel cervello non sminuisce il ruolo della cultura nella formazione degli esseri umani, né riduce la dignità umana, e non segna nemmeno la fine del mistero e dello sconcerto. Le culture nascono ed evolvono dallo sforzo collettivo dei cervelli umani nell'arco di molte generazioni, e accade anche che, nel processo, alcune periscano. Esse richiedono cervelli già plasmati da precedenti effetti culturali. Qui non è in discussione il significato delle culture per il farsi della mente umana moderna; né la dignità di quella mente umana è sminuita dal fatto che si stabilisca una connessione fra di essa e la complessità sbalorditiva, unita alla stupefacente bellezza, delle cellule e dei tessuti viventi. Al contrario, connettere la personalità alla biologia è un'inesauribile fonte di ammirazione e rispetto per tutto ciò che è umano. Da ultimo, ricondurre la mente alla sua matrice naturale può certo risolvere un mistero, ma solo per alzare il sipario su altri enigmi che attendono silenziosamente il proprio turno.

Collocare la costruzione della mente cosciente nella storia della biologia e della cultura apre la strada alla ri-

conciliazione fra l'umanesimo tradizionale e la scienza moderna: quando le neuroscienze esplorano l'esperienza umana addentrandosi negli strani mondi della fisiologia cerebrale e della genetica, la dignità umana non solo è conservata, ma viene anzi riaffermata.

F. Scott Fitzgerald scrisse – e sono parole memorabili: « Chi per primo inventò la coscienza commise un gran peccato ».[21] Posso capire perché lo disse, ma quella condanna è solo una mezza verità, appropriata nei momenti di scoraggiamento di fronte alle imperfezioni della natura messe a nudo dalla mente cosciente. L'altra faccia della verità dovrebbe invece lasciare spazio all'orgoglio per un'innovazione che consente tutte quelle invenzioni e quelle scoperte capaci di mutare perdita e dolore in gioia e tripudio. L'emergere della coscienza aprì la strada a una vita che valeva la pena d'esser vissuta. Comprendere come sia emersa non può che rafforzare quel valore.

Sapere in che modo funziona il cervello conta qualcosa ai fini del modo in cui viviamo la nostra vita? Io credo di sì: conta, e molto; a maggior ragione se ci interessa sapere non solo chi siamo adesso, ma anche ciò che possiamo diventare.

2
DALLA REGOLAZIONE DEI PROCESSI VITALI AL VALORE BIOLOGICO

LA REALTÀ IMPLAUSIBILE

Mark Twain pensava che la grande differenza tra realtà e *fiction* stesse nel fatto che quest'ultima deve essere credibile. La realtà può permettersi di essere implausibile, ma la *fiction* no. Per tale motivo, la storia della mente e della coscienza che mi accingo a presentare qui non è conforme ai requisiti della *fiction.* È veramente controintuitiva: ribalta le nostre storie tradizionali, nega ripetutamente vecchi assunti e infrange non poche aspettative. D'altra parte, nulla di tutto ciò rende la mia descrizione meno probabile.

L'idea che al di sotto della mente cosciente siano celati i processi mentali inconsci certo non è nuova: ventilata per la prima volta più di un secolo fa, e accolta dal pubblico con una certa sorpresa, oggi è un luogo comune. Quello che invece non è comunemente apprezzato, per quanto sia ben noto, è che molto prima di possedere una mente gli esseri viventi presentavano già comportamenti efficienti e adattativi che ricordano in tutto e per tutto quelli che emergono nelle creature dotate di mente e coscienza. Nel loro caso, però, quei comportamenti *non* potevano essere indotti dalla mente e meno che mai dalla coscienza. In breve, non è vero soltanto che i pro-

cessi consci e inconsci coesistono: è vero anche che i processi inconsci importanti ai fini del mantenimento della vita possono esistere senza essere accompagnati da processi coscienti.

Per quanto riguarda la mente e la coscienza, l'evoluzione ha dato origine a cervelli di diverso tipo. Vi sono quelli che producono comportamento ma non sembrano possedere una mente o una coscienza: un esempio è il sistema nervoso di *Aplysia californica*, la lumaca marina divenuta famosa nel laboratorio del neurobiologo Eric Kandel. Un altro tipo di cervello produce invece l'intera gamma di fenomeni: comportamento, mente e coscienza; com'è ovvio, il cervello umano è l'esempio principale. Vi è poi un terzo tipo di cervello che produce senza dubbio il comportamento e con buona probabilità anche una mente, ma non è altrettanto chiaro se generi pure una coscienza, nel senso discusso qui: è questo il caso degli insetti.

Le sorprese, però, non si limitano all'idea che in assenza di mente e coscienza il cervello possa comunque produrre un comportamento degno del nome. Si è infatti constatato che creature viventi del tutto prive di cervello, persino singole cellule, presentano comportamenti apparentemente intelligenti e diretti a uno scopo: anche questo è un fatto scarsamente apprezzato.

Senza dubbio, la comprensione dei cervelli più semplici, che non producono né mente né coscienza, può fornirci informazioni utili sul modo in cui il cervello umano produce la mente cosciente. Mentre ci impegniamo in questa rassegna retrospettiva, però, è evidente che per spiegare l'ascesa di cervelli tanto antichi dobbiamo addentrarci in un passato sempre più remoto, fino a risalire al mondo delle forme di vita più semplici, senza mente *e* senza cervello: forme di vita *prive* di processi coscienti, mentali e cerebrali. In effetti, se vogliamo spiegare la base del cervello cosciente, dobbiamo spingerci sempre più vicino agli esordi della vita. E qui, ancora una volta, arriviamo a formulare idee non soltanto

sorprendenti, ma anche tali da scuotere assunti comunemente accettati sul contributo che cervello, mente e coscienza offrono alla gestione dei processi vitali.

VOLONTÀ NATURALE

A questo punto, occorre narrare una storia. In un tempo molto lontano, durante il lunghissimo cammino dell'evoluzione, apparve la vita: questo accadde 3,8 miliardi di anni or sono, quando entrò in scena l'antenato di tutti i futuri organismi. Circa due miliardi di anni dopo, mentre prospere colonie di batteri sembravano aver preso possesso del pianeta, fu la volta di cellule singole dotate di nucleo. Anche i batteri erano organismi unicellulari, ma il loro DNA non era contenuto in un nucleo. La comparsa di organismi unicellulari nucleati rappresentò un gran passo avanti: queste forme di vita, note tecnicamente come «cellule eucariotiche», appartenevano a un vasto gruppo di organismi denominati Protozoi. All'alba della vita, quelle cellule furono fra i primi organismi davvero indipendenti: ciascuna di esse poteva sopravvivere individualmente, senza dipendere da associazioni simbiotiche. Questi semplici organismi unicellulari sono qui con noi ancora oggi: amebe e parameci, creature vivaci e meravigliose, sono due buoni esempi.[1]

La cellula eucariotica è dotata di un'impalcatura (il citoscheletro) all'interno della quale si trova un nucleo (il centro di comando contenente il DNA cellulare) e un citoplasma (il luogo in cui il combustibile viene trasformato in energia, sotto il controllo di organuli chiamati mitocondri). Il corpo degli organismi pluricellulari è delimitato dalla cute, che è un confine fra il mondo interno e quello esterno: anche la cellula ha un confine simile, denominato «membrana cellulare».

Sotto molti aspetti, una singola cellula è un'anteprima di quello che sarebbe diventato un organismo come

il nostro. La si può considerare un'astrazione molto schematica di quello che noi stessi siamo. Il citoscheletro è l'impalcatura dell'organismo cellulare, proprio come lo scheletro osseo lo è per noi. Il citoplasma corrisponde all'interno del corpo, con tutti i suoi organi. Il nucleo è come il cervello e la membrana cellulare come la cute. Alcune cellule hanno perfino l'equivalente di arti – le ciglia – i cui movimenti coordinati consentono loro di nuotare.

La cellula eucariotica, con le sue componenti distinte, venne in essere grazie alla cooperazione di creature unicellulari più semplici – precisamente batteri –, che rinunciarono al loro status indipendente per essere parte di un nuovo, conveniente aggregato. Un certo tipo di batterio diede origine ai mitocondri; un altro tipo, simile alle spirochete, contribuì al citoscheletro e – nel caso di organismi amanti del nuoto – alle ciglia; e così via.[2] La meraviglia sta nel fatto che ciascuno dei nostri organismi pluricellulari è assemblato seguendo questa stessa strategia fondamentale, e cioè aggregando miliardi di cellule in modo da formare tessuti, unendo poi diversi tipi di tessuti per ottenere organi, e infine collegando organi diversi per realizzare sistemi. Esempi di tessuti sono gli epiteli della cute, delle mucose e delle ghiandole endocrine; il tessuto muscolare; il tessuto nervoso; e il tessuto connettivo che mantiene tutti gli altri al loro posto. Ovvi sono gli esempi degli organi: cuore, intestino, cervello. Fra i sistemi possiamo menzionare il circolatorio (l'ensemble formato da cuore, sangue e vasi sanguigni), l'immunitario e il nervoso. A causa di questa struttura cooperativa, il nostro organismo è una combinazione altamente differenziata di milioni di miliardi di cellule di vario genere, fra le quali sono naturalmente compresi i neuroni: i costituenti più caratteristici del cervello. Fra poco parlerò più diffusamente di entrambi.

La principale differenza fra le cellule degli organismi pluricellulari (i metazoi) e quelle degli organismi unicellulari è che mentre queste ultime devono badare a se

stesse per ogni necessità, le prime vivono invece all'interno di società complesse, costituite da membri con caratteristiche altamente diverse. Molti compiti che le cellule degli organismi unicellulari devono svolgere da sole, negli organismi pluricellulari sono assegnati a tipi cellulari specializzati. Il quadro generale è paragonabile all'assegnazione dei diversi ruoli funzionali che ha luogo nella struttura di un organismo unicellulare. Gli organismi pluricellulari sono costituiti di numerosi organismi unicellulari, organizzati in modo cooperativo, e originariamente derivanti dalla combinazione di organismi più piccoli. L'economia di un organismo pluricellulare presenta molti settori, all'interno dei quali le cellule cooperano. Se tutto questo suona familiare e fa pensare alle società umane, è perché è proprio così: le analogie sono stupefacenti.

In un organismo pluricellulare il governo del sistema è altamente decentralizzato, sebbene sia dotato di centri di comando – come il sistema endocrino e il cervello – con notevoli capacità di analisi e decisione. Con rare eccezioni, tuttavia, le cellule degli organismi pluricellulari, compreso il nostro, hanno tutte le stesse componenti già presenti negli organismi unicellulari: membrana, citoscheletro, citoplasma e nucleo. (I globuli rossi, la cui breve vita di centoventi giorni è interamente dedicata al trasporto dell'emoglobina, sono privi di nucleo, e rappresentano l'eccezione). Tutte quelle cellule, inoltre, hanno un ciclo vitale simile – nascita, sviluppo, senescenza, morte –, proprio come un organismo di grandi dimensioni. La vita di un singolo corpo umano è costituita da una moltitudine di vite simultanee e ben coordinate.

Per semplici che fossero e siano tuttora, le singole cellule avevano quella che sembrava una ferma e incrollabile determinazione a restare vive, fintanto che i geni all'interno del loro microscopico nucleo ordinavano di farlo. Il governo della loro vita comprendeva una testarda insistenza a persistere, resistere e prevalere fino a quando alcuni dei geni presenti nel nucleo non avesse-

ro sospeso la volontà di vivere, permettendo loro di morire.

È difficile – lo so – immaginare che i concetti di «desiderio» e «volontà» siano applicabili a una singola cellula solitaria. Come è possibile che atteggiamenti e intenzioni – che noi associamo alla mente umana cosciente e intuiamo essere il risultato dei meccanismi del grande cervello umano – siano presenti a un livello così elementare? Eppure, quegli aspetti specifici del comportamento cellulare sono presenti – sono lì –, comunque si decida di chiamarli.[3]

La singola cellula – priva com'è di conoscenza cosciente e di accesso ai sofisticati dispositivi di scelta disponibili invece nel nostro cervello – sembra esprimere un atteggiamento: vuole vivere fino in fondo la vita prescritta dai suoi geni. Per quanto possa sembrare strano, la volontà, insieme a tutto quanto è necessario per realizzarla, *precede* sia la conoscenza esplicita delle condizioni di vita, sia la riflessione relativa a esse, giacché chiaramente la singola cellula non possiede né l'una né l'altra. Il nucleo e il citoplasma interagiscono ed eseguono complesse computazioni mirate a mantenere in vita la cellula. Istante per istante, essi affrontano i problemi posti dalle condizioni di vita e adattano la cellula alla situazione contingente, in modo che essa possa sopravvivere. A seconda delle condizioni ambientali, ridispongono e ridistribuiscono le molecole al proprio interno e modificano la forma di sottocomponenti quali i microtubuli, dando prova di una precisione sbalorditiva. Reagiscono sia a un trattamento duro, sia a condizioni più miti. Ovviamente, l'installazione e l'istruzione delle componenti cellulari che eseguono questi adeguamenti adattativi è opera del materiale genetico della cellula.

Di solito cadiamo nella trappola di pensare che gli atteggiamenti, le intenzioni e le strategie alla base delle nostre sofisticate modalità di gestione dei processi vitali scaturiscano dal nostro grande cervello e dalla nostra mente complessa, dotata di coscienza. E perché non do-

vremmo? Si tratta di un modo ragionevole e parsimonioso di concepire la storia di tali processi, quando la si considera dalla cima della piramide, dalla nostra attuale situazione. La realtà, però, è che la mente cosciente si è limitata a rendere *conoscibile* il fondamentale know-how di quei processi. Come vedremo, i contributi decisivi offerti dalla mente cosciente all'evoluzione hanno luogo a un livello molto più alto; hanno a che fare con l'attività decisoria riflessiva offline e con le invenzioni culturali. Non sto assolutamente minimizzando l'importanza di quel livello elevato di gestione dei processi vitali: anzi, una delle principali idee sostenute in questo libro è che la mente umana cosciente abbia guidato l'evoluzione lungo un nuovo corso proprio perché ci ha consentito delle scelte, rendendo così possibile una regolazione socioculturale relativamente flessibile che, per esempio, va oltre l'organizzazione sociale complessa esibita in modo tanto spettacolare dagli insetti. Sto invece invertendo la sequenza narrativa della tradizionale descrizione della coscienza, in modo che la conoscenza implicita della gestione dei processi vitali *preceda* l'esperienza cosciente di tale conoscenza. Sto anche dicendo che la conoscenza implicita è molto sofisticata e pertanto non dovrebbe essere considerata primitiva. La sua complessità è enorme, e la sua intelligenza apparente è notevole.

Non sto abbassando il rango della coscienza; di sicuro sto invece elevando lo status della gestione non cosciente dei processi vitali, ipotizzando che essa costituisca il modello degli atteggiamenti e delle intenzioni della mente cosciente.

Ogni cellula del nostro corpo presenta il tipo di atteggiamento non cosciente appena descritto. Ma allora non potrebbe darsi che il nostro desiderio cosciente e tanto umano di vivere, o la nostra volontà di prevalere, siano affiorati inizialmente come aggregati delle volontà rudimentali di tutte le cellule del nostro corpo – come una voce collettiva levatasi in un canto di autoaffermazione?

L'idea di un gran numero di volontà espresse attraverso una singola voce non è una mera fantasia poetica: è invece legata alla realtà del nostro organismo, in cui effettivamente – all'interno di un cervello cosciente – esiste una voce, nella forma del *sé*. Ma come si fa a trasferire le volontà delle singole cellule e dei loro raggruppamenti – volontà prive di cervello e di mente – al sé di una mente dotata di coscienza che origina in un cervello? Affinché ciò accada, dobbiamo introdurre nella nostra narrazione un attore rivoluzionario che cambia le regole del gioco: la cellula nervosa, o neurone.

Da quanto ci è dato di capire, i neuroni sono cellule uniche, diverse da tutte le altre presenti nell'organismo e perfino da altri tipi di cellule cerebrali, come le cellule gliali. Che cosa li rende tanto diversi e così speciali? Dopo tutto, non hanno anch'essi un corpo cellulare dotato di nucleo, citoplasma e membrana? Non ridispongono anch'essi le molecole al proprio interno, esattamente come avviene nelle altre cellule dell'organismo? Non si adattano forse anche loro all'ambiente? Certo, i neuroni fanno tutto questo; essi sono, in tutto e per tutto, cellule dell'organismo come le altre; eppure, sono anche speciali.

Se vogliamo spiegare perché, dobbiamo considerare due loro caratteristiche precipue: una funzionale e l'altra strategica. La fondamentale differenza funzionale dei neuroni rispetto alle altre cellule ha a che fare con la loro capacità di produrre segnali elettrochimici in grado di modificare lo stato di altre cellule. Non che siano stati i neuroni a inventare i segnali elettrici: organismi unicellulari come i parameci, per esempio, sono anch'essi in grado di produrli e se ne servono per controllare il proprio comportamento. I neuroni però usano i segnali per influenzare altre cellule: più precisamente, altri neuroni, cellule muscolari e cellule endocrine (che secernono sostanze chimiche). La modificazione dello stato delle altre cellule è alla base dell'attività che dapprima costituisce e controlla il comportamento e in seguito contribuisce alla creazione della mente. I neuroni possono mette-

re a segno un'impresa del genere perché producono e propagano una corrente elettrica lungo il loro prolungamento tubolare denominato assone. A volte la trasmissione avviene su distanze macroscopiche, per esempio quando il segnale viaggia per molti centimetri lungo gli assoni che dalla corteccia motrice vanno al tronco encefalico o dal midollo spinale all'estremità di un arto. Giunta al terminale dell'assone, in corrispondenza della sinapsi, la corrente elettrica induce la liberazione di una sostanza chimica – un trasmettitore – che a sua volta agisce sulla cellula successiva della catena. Se quest'ultima è una fibra muscolare, ne consegue un movimento.[4]

Non vi è più alcun mistero sul modo in cui i neuroni facciano tutto questo. Come in altre cellule dell'organismo, anche nei neuroni i versanti interno ed esterno della membrana presentano una carica elettrica dovuta alla concentrazione di ioni quali il sodio o il potassio. I neuroni però sfruttano lo stato di polarizzazione, ovvero una grande differenza tra la carica presente all'interno e all'esterno della membrana. Se, in un punto preciso della membrana, questa differenza viene drasticamente ridotta, si ha una depolarizzazione locale che avanza lungo l'assone come un'onda: quell'onda è l'impulso elettrico. Quando i neuroni si depolarizzano, diciamo che si trovano in stato di «on», oppure che «scaricano». In sintesi, i neuroni sono come le altre cellule, tuttavia possono inviare segnali in grado di influenzare altri elementi cellulari, modificando così ciò che essi fanno.

La differenza funzionale appena descritta è responsabile di una fondamentale differenza strategica; *i neuroni esistono a vantaggio di tutte le altre cellule dell'organismo.* Essi non sono essenziali per i processi fondamentali della vita, come possono facilmente testimoniare le creature viventi che non li possiedono. In organismi pluricellulari complicati, però, i neuroni *assistono* il corpo nella gestione dei processi vitali. Questo è il loro scopo ed è lo scopo del cervello che, nel loro insieme, essi costituiscono. Dalle meraviglie della creatività alle alte vette della spiri-

tualità, tutte le sbalorditive realizzazioni del cervello per le quali nutriamo una grandissima ammirazione sembrano essere state realizzate grazie all'impegno dei neuroni a gestire i processi vitali nel corpo in cui abitano.

I neuroni assistono le altre cellule anche negli organismi con cervelli modesti, costituiti da reti di cellule nervose organizzate in gangli. Lo fanno ricevendo segnali dalle altre cellule del corpo e promuovendo la liberazione di sostanze chimiche (per esempio un ormone secreto da una cellula endocrina e che raggiunge le altre cellule dell'organismo modificandone la funzione), oppure promuovendo il movimento (per esempio eccitando le fibre muscolari e inducendone così la contrazione). Nel cervello sofisticato delle creature complesse, però, le reti di neuroni finiscono per mimare la struttura di alcune parti di quello stesso corpo a cui appartengono. Finiscono cioè con il *rappresentare* lo stato del corpo per il quale lavorano, mappandolo – in senso letterale – e costituendone una sorta di surrogato virtuale, un doppio neurale. Inoltre – e questo è un particolare molto importante –, i neuroni restano connessi per tutta la vita al corpo che mimano. Come vedremo, mimare il corpo rimanendovi connessi contribuisce magnificamente alla funzione della gestione.

In breve, le cellule nervose si *riferiscono* al corpo, e questo loro incessante puntare a esso è il tratto definitorio dei neuroni, dei circuiti neuronali e del cervello: io credo che sia la ragione per cui la volontà di vivere delle cellule del nostro corpo – una volontà nascosta – possa essere stata tradotta in una volontà cosciente, fondata sulla presenza di una mente. Le volontà cellulari nascoste finiscono per essere mimate dai circuiti cerebrali. Il fatto che i neuroni e il cervello siano concentrati sul corpo fornisce anche, curiosamente, qualche indicazione sul modo in cui il mondo esterno sarà mappato nel cervello e nella mente. Come spiegherò nella seconda parte, quando un cervello crea una mappa del mondo esterno al corpo, lo fa grazie alla mediazione di quello stesso

corpo. Quando quest'ultimo interagisce con il proprio ambiente, gli organi di senso – per esempio gli occhi, le orecchie e la cute – subiscono alcune modificazioni; il cervello crea allora una mappa di quelle modificazioni, e così il mondo esterno al corpo acquista indirettamente una qualche rappresentazione a livello cerebrale.

Nel chiudere questo inno alla peculiarità e alla grandezza dei neuroni, desidero aggiungere una nota sulla loro origine, riconducendoli in tal modo a una natura più modesta. Da un punto di vista evolutivo, i neuroni derivarono probabilmente da cellule eucariotiche che erano solite modificare la propria forma e produrre estensioni di forma tubolare mentre si spostavano percependo l'ambiente circostante, incorporando nutrimento e – più in generale – affrontando le sfide della vita. Gli pseudopodi di un'ameba danno un'idea di tale processo. I prolungamenti tubolari di questo organismo, creati al momento attraverso una ridisposizione interna dei microtubuli, vengono smantellati una volta che la cellula ha eseguito il suo compito. Tuttavia, quando – da temporanei che erano – divennero permanenti, questi prolungamenti diedero origine ad assoni e dendriti, le componenti tubolari che rendono tanto peculiari i neuroni. Era nato un sistema stabile di cavi e antenne, ideale per emettere e ricevere segnali.[5]

Che importanza ha tutto questo? Sebbene presentino un funzionamento molto caratteristico che ha aperto la strada al comportamento complesso e alla mente, i neuroni hanno conservato una stretta affinità con le altre cellule dell'organismo. Se ci limitiamo a considerare neuroni e cervello come strutture radicalmente diverse, tralasciando le loro origini, rischiamo di separare in modo eccessivo il cervello dal corpo: più di quanto sia giustificabile considerando la sua genealogia e il suo funzionamento. Io sospetto che lo sconcerto sul modo in cui gli stati del sentire emergono nel cervello derivi in gran parte dal fatto che viene trascurata la relazione profonda esistente fra corpo e cervello.

Occorre poi fare un'ulteriore distinzione fra i neuroni e le altre cellule dell'organismo. Per quanto ne sappiamo, i neuroni non si riproducono – in altre parole, non si dividono – né si rigenerano, o perlomeno non lo fanno in una misura significativa. Praticamente, tutte le altre cellule dell'organismo lo fanno, sebbene esista anche qualche altra eccezione, come le cellule del cristallino, nell'occhio, e le fibrocellule muscolari del cuore: per loro, dividersi non sarebbe una buona idea. Con ogni probabilità, se le cellule del cristallino andassero incontro a divisione, durante il processo la trasparenza del mezzo sarebbe ridotta. Se a dividersi fossero le cellule del cuore (anche se fosse interessato un solo settore alla volta, un po' come quando si pianifica attentamente la ristrutturazione di una casa), l'azione della pompa cardiaca ne risulterebbe seriamente compromessa, proprio come accade quando un infarto del miocardio danneggia la funzionalità di un settore del cuore introducendo uno squilibrio nella fine coordinazione delle sue quattro camere. E il cervello? Ancora non abbiamo una comprensione profonda del modo in cui i circuiti neuronali conservino i ricordi, tuttavia è probabile che la divisione dei neuroni metterebbe a soqquadro gli archivi dove sono depositate le esperienze di tutta la vita: esperienze che, grazie all'apprendimento, vengono impresse in particolari configurazioni di neuroni che scaricano all'interno di circuiti complessi. Per lo stesso motivo, la divisione comprometterebbe anche il sofisticato know-how – originariamente impresso dal genoma nei circuiti neurali – che prescrive al cervello come coordinare le funzioni vitali. La divisione dei neuroni potrebbe segnare la fine dei processi di regolazione specie-specifici e forse non consentirebbe lo sviluppo dell'individualità del comportamento e della mente, e ancor meno la formazione di identità e personalità. A rendere plausibile questo cupo scenario vi sono le conseguenze ben note dei danni che interessano alcuni circuiti neuronali e che sono indotti dagli ictus o dalla malattia di Alzheimer.

Nella maggior parte delle altre cellule del nostro organismo, la divisione è una funzione altamente disciplinata, così da avvenire senza compromettere l'architettura dei diversi organi e, più in generale, quella dell'organismo. Esiste un *Bauplan* da rispettare. Durante tutta la vita, più che a una vera e propria ristrutturazione, l'organismo va incontro a un continuo *restauro*. Nella casa del nostro corpo noi non abbattiamo muri; né costruiamo *ex novo* una cucina o un'ala per gli ospiti. Il restauro è molto sottile ed estremamente meticoloso: per buona parte della nostra vita, la sostituzione delle cellule avviene in modo così eccellente che il nostro aspetto rimane immutato. D'altra parte, quando consideriamo le conseguenze dell'invecchiamento sull'aspetto esterno del nostro organismo o sul funzionamento dei nostri sistemi interni, ci rendiamo conto di come, a poco a poco, la sostituzione cominci a essere meno impeccabile. Le cose non si trovano più esattamente allo stesso posto. La cute del volto invecchia, i muscoli perdono tonicità, la gravità si fa sentire, con ogni probabilità gli organi non funzionano più molto bene. È proprio a quel punto che dovrebbe entrare in scena un bravo chirurgo plastico di Beverly Hills, coadiuvato da cure specialistiche efficaci e dispendiose.

RESTARE VIVI

Che cosa occorre perché una cellula si mantenga in vita? Molto semplicemente: una buona manutenzione e buone relazioni esterne. Ciò significa saper affrontare in modo efficace la miriade di problemi posti dalla vita. Tanto in una cellula singola, quanto in grandi creature il cui organismo ne conta milioni di miliardi, la vita necessita della trasformazione di nutrienti adatti in energia, il che, a sua volta, richiede la capacità di risolvere numerosi problemi: in primo luogo, trovare i prodotti da

cui ricavare energia; e poi introdurli nell'organismo, convertirli in ATP (la valuta energetica universale), eliminare le scorie e usare l'energia per qualsiasi processo occorra espletare al fine di perpetuare questa routine: trovare ciò che serve, incorporarlo, e così via. Ecco i problemi cui deve far fronte un'umile cellula: procurarsi il nutrimento, consumarlo, digerirlo e fare in modo che esso garantisca la necessaria fornitura di energia.

Se i meccanismi di gestione della vita sono così essenziali è perché la vita è difficile: si tratta infatti di uno stato precario, reso possibile solo quando, nell'organismo, viene simultaneamente soddisfatto un gran numero di condizioni. In organismi come il nostro, per esempio, le quantità di ossigeno e di CO_2 possono variare solo all'interno di intervalli ristretti, come pure l'acidità (il pH) del mezzo in cui le diverse molecole si spostano da una cellula all'altra. Lo stesso vale per la temperatura, delle cui variazioni siamo profondamente consapevoli quando abbiamo la febbre oppure, più spesso, quando ci lamentiamo del clima troppo caldo o troppo freddo; e vale anche per la quantità di nutrienti fondamentali – zuccheri, grassi e proteine – presenti nel sangue circolante. Ogni volta che queste variabili si discostano da quello stretto intervallo virtuoso, ci sentiamo a disagio e se passa molto tempo senza che interveniamo per rimediare, subentra l'agitazione. Questi stati mentali e questi comportamenti ci segnalano che le ferree leggi della regolazione della vita sono state violate; sono sollecitazioni dirette a mente e coscienza, provenienti dai territori dei processi non coscienti: sollecitazioni che ci chiedono di trovare soluzioni ragionevoli a una situazione non più gestibile con dispositivi automatici fuori dal controllo della coscienza.

Quando si misurano tutti quei parametri attribuendo loro dei numeri, si scopre che l'intervallo all'interno del quale essi normalmente variano è estremamente ristretto. In altre parole, la vita impone che l'organismo conservi a ogni costo, nel proprio dinamico paesaggio interno, letteralmente decine e decine di parametri entro i

loro relativi *intervalli*. Tutte le operazioni di gestione cui ho accennato prima – procurarsi le fonti di energia, incorporare e trasformare i prodotti energetici, eccetera – mirano a mantenere i parametri chimici dell'organismo (il *milieu* interno) entro quell'intervallo magico, compatibile con la vita, detto *omeostatico*; il processo grazie al quale si raggiunge questo equilibrio è detto *omeostasi*. Questi termini non troppo eleganti furono coniati nel Novecento dal fisiologo Walter Cannon, il quale aveva approfondito ed esteso le scoperte di Claude Bernard, biologo francese del secolo precedente; questi aveva coniato un'espressione più bella – *milieu intérieur* (ambiente/mezzo interno) – per indicare il brodo chimico in cui la lotta per la vita, per quanto inaccessibile alla vista, ha ininterrottamente luogo. Purtroppo, sebbene gli elementi essenziali della regolazione dei processi vitali (regolazione che coincide con il processo dell'omeostasi) siano ormai noti da più di un secolo e vengano quotidianamente applicati in biologia generale e in medicina, il loro significato più profondo, in termini di neurobiologia e di psicologia, non è stato ancora apprezzato.[6]

LE ORIGINI DELL'OMEOSTASI

In che modo l'omeostasi fu introdotta negli organismi? In che modo le singole cellule acquisirono il loro programma di regolazione dei processi vitali? Per affrontare questi interrogativi occorre impegnarsi in una ostica forma di ingegneria inversa: un'impresa mai facile, giacché abbiamo trascorso gran parte della nostra storia scientifica ponendoci nella prospettiva degli organismi interi, e non in quella delle molecole e dei geni da cui essi hanno inizio.

Il fatto che l'omeostasi sia iniziata in modo inconsapevole a livello di organismi senza coscienza, senza mente e senza cervello, solleva una domanda: dove, e in che

modo, l'intenzione omeostatica mise radici nella storia della vita? Tale domanda ci conduce dalle singole cellule ai geni, e da questi ultimi a molecole semplici, più semplici del DNA e dell'RNA. L'intenzione omeostatica può sorgere da quei semplici livelli e può perfino essere legata ai processi fisici elementari che governano le interazioni fra le molecole – per esempio, le forze con cui due molecole si attraggono, si respingono, o si combinano, in modo costruttivo o distruttivo. Le molecole si respingono o si attraggono; si uniscono e cooperano in modo esplosivo, oppure rifiutano di farlo.

Per quanto riguarda gli organismi, a conferire loro la capacità omeostatica furono chiaramente le reti geniche derivanti dalla selezione naturale. Che tipo di conoscenza possedevano (e tuttora possiedono) le reti geniche, per poter trasmettere queste sagge istruzioni agli organismi di cui stavano guidando l'esordio? Dove origina il valore, qual è il suo « primordio » quando ci spingiamo al di sotto del livello dei tessuti e delle cellule, fino a quello dei geni? Forse, quel che serve è un'organizzazione specifica dell'informazione genetica. A livello delle reti geniche l'origine prima del valore consisteva di un'organizzazione dell'espressione genica tale da promuovere la costruzione di organismi « omeostaticamente competenti ».

Se ci spingiamo a livelli ancora più semplici, però, dobbiamo trovare risposte più profonde. Sono in corso importanti dibattiti per chiarire in che modo il processo della selezione naturale abbia prodotto il cervello di cui gli esseri umani sono attualmente dotati. La selezione naturale ha operato a livello dei geni, di interi organismi, di gruppi di individui, o a tutti i livelli appena citati? Dalla prospettiva del gene, e affinché i geni sopravvivessero nell'arco delle generazioni, le reti geniche dovettero tuttavia costruire organismi che fossero mortali e al tempo stesso capaci di successo, e in grado di servire da veicoli. E affinché gli organismi si comportassero in modo da riscuotere quel successo, i geni dovevano guidar-

ne l'assemblaggio fornendo loro alcune istruzioni essenziali.

In buona parte, quelle istruzioni dovevano riguardare la messa a punto di dispositivi capaci di operare una regolazione efficiente dei processi vitali. I nuovi dispositivi controllavano la distribuzione di ricompense, l'applicazione di punizioni e la previsione delle circostanze che l'organismo avrebbe affrontato in futuro. In breve, le istruzioni geniche condussero alla costruzione di dispositivi in grado di eseguire quelle che poi – in organismi complessi come gli esseri umani – fiorirono come emozioni, nel senso più ampio del termine. Il primo abbozzo di questi dispositivi apparve in organismi senza cervello, senza mente e senza coscienza, ovvero nelle singole cellule discusse in precedenza; essi raggiunsero tuttavia la massima complessità negli organismi in possesso di tutti e tre gli attributi: cervello, mente e coscienza.[7]

L'omeostasi è sufficiente a garantire la sopravvivenza? No davvero, infatti tentare di correggere gli squilibri omeostatici, una volta che essi si siano instaurati, è una prassi inefficace e rischiosa. L'evoluzione risolse questo problema introducendo dispositivi che in primo luogo consentissero agli organismi di prevedere gli squilibri e che, in secondo luogo, offrissero loro la motivazione necessaria per esplorare ambienti probabilmente in grado di offrire soluzioni utili.

SINGOLE CELLULE, ORGANISMI PLURICELLULARI E MACCHINE ARTIFICIALI

Le singole cellule e gli organismi pluricellulari hanno diversi aspetti in comune con le macchine artificiali. L'attività degli organismi viventi o delle macchine realizza un obiettivo; l'attività è costituita da diversi processi

componenti; questi ultimi sono eseguiti da parti anatomiche distinte che espletano compiti di ordine inferiore; eccetera. La somiglianza è molto suggestiva e sta alla base di metafore che funzionano a doppio senso e con le quali descriviamo sia gli esseri viventi, sia le macchine. Parliamo del cuore come di una pompa, dell'apparato circolatorio come di un impianto idraulico, dell'azione degli arti come di quella di altrettante leve, eccetera. Allo stesso modo, quando parliamo di una funzione indispensabile in una macchina complessa, la indichiamo come il suo «cuore», e parliamo dei suoi dispositivi di controllo come del suo «cervello». Le macchine che operano in modo imprevedibile sono definite «capricciose». Questo approccio – in linea di massima decisamente illuminante – è anche responsabile dell'idea, non molto utile, che il cervello sia un computer digitale e la mente una sorta di software da lanciare su di esso. Il problema reale di queste metafore, però, scaturisce dal fatto che trascurano lo status, fondamentalmente diverso, delle *componenti materiali* degli organismi viventi e delle macchine costruite dall'uomo. Confrontiamo, per esempio, una moderna meraviglia dell'ingegneria aeronautica, il Boeing 777, con un organismo vivente, piccolo o grande che sia. È possibile enucleare facilmente un certo numero di somiglianze: vi sono i centri di comando nella forma dei computer in cabina; i canali di «*feed-forward*» che portano informazioni a quei computer, e che regolano le informazioni trasmesse alla periferia mediante canali di «*feedback*»; una sorta di metabolismo dato dal fatto che i motori si alimentano con il combustibile e trasformano l'energia; eccetera. Persiste tuttavia una differenza fondamentale: ogni organismo vivente è, per natura, dotato di regole e dispositivi omeostatici globali; in caso di malfunzionamento, il corpo dell'organismo muore; fatto ancor più importante, *ogni* componente del corpo dell'organismo (e con questo intendo dire ogni singola cellula) è, di per se stessa, un organismo vivente, dotato per sua natura di regole e disposi-

tivi omeostatici propri, e soggetto allo stesso rischio di morte in caso di malfunzionamento. La struttura del magnifico 777 non ha nulla di paragonabile, dalla fusoliera in lega metallica ai materiali che costituiscono i chilometri di cavi e i sistemi idraulici presenti al suo interno. Nel 777, i meccanismi « omeostatici » di livello superiore, condivisi dai suoi intelligenti computer di bordo e dai due piloti necessari per farlo volare, mirano a preservare la sua struttura intera, *in toto*, e non le sue componenti fisiche macro- e microscopiche.

IL VALORE BIOLOGICO

Dal mio punto di vista, la dotazione più essenziale di qualsiasi essere vivente, in qualsiasi istante, è l'insieme equilibrato dei parametri chimici compatibili con una vita in buona salute: questo si applica allo stesso modo a un essere umano e a un'ameba. Tutto il resto scaturisce da quell'insieme di parametri, e la sua importanza non può essere sopravvalutata.

Il concetto di valore biologico è ubiquitario nel pensiero moderno sul cervello e la mente. Tutti abbiamo un'idea, o forse diverse idee, su che cosa significhi la parola *valore*, ma che cosa intendiamo per *valore biologico*? Consideriamo qualche altro interrogativo: perché prendiamo praticamente ogni cosa intorno a noi – cibo, case, oro, gioielli, dipinti, azioni, servizi e perfino gli altri esseri umani – e assegniamo loro un valore? Perché tutti passano tanto tempo a calcolare guadagni e perdite legati a quegli oggetti? Perché gli oggetti hanno sempre un cartellino del prezzo attaccato? Perché quest'incessante valutazione? E con quale metro misuriamo quel valore? A un primo sguardo potrebbe sembrare che queste domande siano fuori luogo in una conversazione su cervello, mente e coscienza. In realtà sono pertinenti e come vedremo il concetto di valore è fondamentale per

comprendere l'evoluzione, lo sviluppo e l'attuale attività del cervello istante per istante.

Di tutte le domande poste qui sopra, solo quella sul cartellino del prezzo ha una risposta abbastanza semplice e diretta. Gli oggetti indispensabili e quelli difficili da ottenere, in quanto molto richiesti e relativamente rari, hanno un costo più elevato. Ma perché hanno bisogno di un prezzo? Può darsi, per esempio, che non vi sia una quantità sufficiente di ogni cosa perché tutti possano averne un poco; l'attribuzione del prezzo è un modo per gestire lo scollamento molto reale che esiste fra la quantità disponibile di qualcosa e la domanda di cui essa è oggetto. Il prezzo introduce una restrizione e crea una sorta di ordine di precedenza nell'accesso agli oggetti. Ma perché non vi è abbastanza di tutto per tutti? Una delle ragioni, a questo proposito, ha a che fare con la distribuzione non omogenea dei bisogni. Alcuni oggetti sono assolutamente necessari, altri lo sono meno, e alcuni non lo sono affatto. È solo quando introduciamo il concetto di bisogno, che arriviamo finalmente al punto cruciale del valore biologico: c'è un individuo che lotta per restare vivo; e ci sono i bisogni irreprimibili che insorgono nella sua lotta. Per stabilire come mai, a monte di tutto questo, assegniamo un valore agli oggetti, e spiegare la scelta del metro di cui ci serviamo per farlo, è necessario il riconoscimento di questi due problemi: la conservazione della vita e i bisogni che ne discendono. Per quanto riguarda gli esseri umani, la conservazione della vita è solo parte di un problema più ampio: per cominciare, tuttavia, concentriamoci sulla sopravvivenza.

Finora, le neuroscienze hanno affrontato questi interrogativi imboccando una singolare scorciatoia: hanno identificato diverse sostanze chimiche che sono in un modo o nell'altro associate a stati di ricompensa o punizione e quindi, per estensione, al valore. Il nome di alcune delle più note fra esse – dopamina, noradrenalina, serotonina, cortisolo, ossitocina, vasopressina – suonerà familiare al lettore. I neuroscienziati hanno anche iden-

tificato alcuni nuclei cerebrali che sintetizzano queste molecole e le inviano ad altre parti del cervello e al resto del corpo. (I nuclei cerebrali sono raggruppamenti di neuroni localizzati in regioni subcorticali quali il tronco encefalico, l'ipotalamo e il prosencefalo basale; non vanno confusi con i nuclei presenti all'interno delle cellule eucariotiche, che sono semplici compartimenti contenenti la maggior parte del DNA cellulare).[8]

I complicati meccanismi neurali in cui sono implicate le molecole associate al «valore» rappresentano un tema importante, su cui molti neuroscienziati sono oggi impegnati a far luce. Che cosa induce i nuclei a liberare quelle molecole? Dove sono liberate, precisamente, nel cervello e nel resto del corpo? Che cosa accade con la loro liberazione? In un modo o nell'altro, le discussioni sulle nuove affascinanti scoperte tradiscono le nostre aspettative proprio quando passiamo alla domanda fondamentale: *Dove si trova il motore dei sistemi del valore? Qual è il primordio biologico del valore?* In altre parole, che cosa mette in moto questo sofisticatissimo macchinario? Perché esso ebbe inizio? E perché è diventato quello che è diventato?

Senz'ombra di dubbio, le note molecole e i loro nuclei di origine sono componenti importanti del meccanismo del valore, ma non sono la risposta alle nostre domande. Io considero il valore indissolubilmente legato al bisogno, e il bisogno alla vita. Nelle quotidiane attività sociali e culturali noi formuliamo valutazioni che hanno una connessione diretta o indiretta con l'omeostasi. Quella connessione spiega perché i circuiti del cervello umano siano stati dedicati in modo tanto dispendioso non solo alla previsione e al rilevamento di perdite e guadagni, ma anche al timore delle prime e alla promozione dei secondi. Ciò spiega, in altre parole, perché gli esseri umani siano ossessionati dall'assegnazione di un valore.

Direttamente o indirettamente, il valore ha a che fare con la sopravvivenza; in particolare, nel caso degli esseri

umani, ha a che fare anche con la *qualità* di quella sopravvivenza, nella forma di *benessere.* Il concetto di sopravvivenza – e, per estensione, il concetto di valore biologico – può essere applicato a diverse entità biologiche, a partire dalle molecole e dai geni fino a interi organismi. Considererò dapprima la prospettiva degli organismi *in toto.*

IL VALORE BIOLOGICO NEGLI ORGANISMI «IN TOTO»

Detto in parole povere, per l'organismo nella sua interezza il valore più importante consiste nel sopravvivere in buona salute fino a un'età compatibile con il successo riproduttivo. È proprio per consentire questo che la selezione naturale ha perfezionato i meccanismi omeostatici. Di conseguenza, in un contesto biologico, l'origine più remota del valore e della valutazione consiste nel mantenimento dello stato fisiologico dei tessuti di un organismo all'interno di un intervallo omeostatico ottimale. Questo vale allo stesso modo per gli organismi pluricellulari e per quelli in cui il «tessuto» vivente è limitato a un'unica cellula.

L'intervallo omeostatico ideale non è assoluto, ma varia a seconda del contesto in cui si trova un organismo. In prossimità dei suoi estremi, la vitalità del tessuto declina e aumenta il rischio di malattia e morte, mentre all'interno di un certo settore dell'intervallo i tessuti prosperano e funzionano con maggiore efficienza ed economia. In condizioni sfavorevoli, la possibilità di operare nei pressi degli estremi dell'intervallo – sia pure soltanto per brevi periodi – è un importante vantaggio; sono comunque da preferirsi situazioni in cui i processi vitali hanno luogo in prossimità dell'intervallo di maggior efficienza. È ragionevole concludere che per l'organismo l'origine prima del valore, il suo primordio, sia impressa nelle configurazioni dei parametri fisiologici. Il

valore biologico sale o scende lungo una scala di efficienza dei processi vitali, riferita a un particolare stato fisico. In un certo senso, il valore biologico è un surrogato dell'efficienza fisiologica.

La mia ipotesi è che gli oggetti e i processi con i quali ci confrontiamo nella vita quotidiana acquistino il loro valore in rapporto a questo valore biologico originario, oggetto di selezione naturale. I valori che gli esseri umani attribuiscono a oggetti e attività avrebbero qualche relazione, non importa quanto indiretta o remota, con le due condizioni seguenti: in primo luogo, il generale mantenimento del tessuto vivente all'interno dell'intervallo omeostatico adatto al suo attuale contesto; in secondo luogo, la particolare regolazione necessaria affinché il processo operi nella regione dell'intervallo omeostatico associata al benessere, sempre nel contesto attuale.

Per l'organismo nella sua interezza, allora, l'origine prima del valore, il suo primordio, è lo *stato fisiologico del tessuto vivente all'interno di un intervallo omeostatico adatto alla sopravvivenza.* Nel cervello, la continua rappresentazione dei parametri chimici consente a dispositivi cerebrali non coscienti di *rilevare e misurare* le loro deviazioni dall'intervallo omeostatico e quindi di agire come sensori dell'entità dei bisogni interni dell'organismo. A sua volta, la deviazione dall'intervallo omeostatico così misurata consente ad altri dispositivi cerebrali di ordinare azioni correttive e di promuovere opportuni *incentivi* o *disincentivi,* a seconda dell'urgenza della risposta. Un semplice repertorio di tali attività costituisce la base per la *previsione* di condizioni future.

Nei cervelli in grado di rappresentare gli stati interni sotto forma di mappe, cervelli potenzialmente dotati di mente e coscienza, i parametri associati all'intervallo omeostatico corrispondono – ai livelli di elaborazione cosciente – all'*esperienza* del dolore e del piacere. Succes-

sivamente, nei cervelli capaci di linguaggio, quelle esperienze possono ricevere etichette linguistiche specifiche, così da poter essere chiamate con il loro *nome*: piacere, benessere, disagio, dolore.

Se si prende un dizionario e si cerca la parola *valore*, si trova qualcosa di simile a questa definizione: «equivalente relativo di un bene (monetario, materiale o di altra natura); merito; importanza; mezzo di scambio; quantità di qualcosa che può essere scambiata per ottenere qualcos'altro; qualità di una cosa che la rende desiderabile o utile; utilità; costo; prezzo». Come si vede, il valore biologico è alla base di tutti questi significati.

IL SUCCESSO DEI NOSTRI ANTENATI PIÙ REMOTI

Che cosa decretò il successo tanto brillante degli organismi-veicoli? Che cosa aprì la strada a creature complesse come noi? Ai fini della nostra comparsa, un ingrediente importante sembra essere stato il *movimento*: qualcosa di cui le piante non dispongono, ma di cui noi e alcuni altri animali siamo invece dotati. Le piante possono avere dei tropismi: alcune sono in grado di orientarsi cercando il sole o evitando l'ombra; e alcune, come la carnivora dionea, riescono addirittura a catturare insetti distratti. Nessuna pianta, però, può sradicarsi e andarsene a cercare un ambiente migliore da un'altra parte: è il giardiniere che deve farlo per lei. La tragedia delle piante, che peraltro esse ignorano, è che le loro cellule, circondate da una parete rigida come un corsetto, non potranno mai modificare la propria forma in modo sufficiente per diventare neuroni. Le piante non hanno cellule nervose: quindi, non avranno mai una mente.

Anche gli organismi indipendenti non dotati di cervello hanno sviluppato un ingrediente importante: la capacità di *rilevare* modificazioni delle condizioni fisiologiche, sia all'interno del proprio perimetro sia nell'am-

biente circostante. Perfino i batteri reagiscono alla luce del sole, e anche a moltissime sostanze chimiche; posti in una capsula Petri, essi risponderanno all'immissione di una sostanza tossica raggruppandosi e allontanandosi dalla minaccia. Anche le cellule eucariotiche rilevavano l'equivalente di stimoli tattili e vibrazioni. I cambiamenti avvertiti nell'ambiente interno o esterno potevano indurle al movimento da un luogo all'altro. Ma per rispondere a una situazione in modo efficace, la struttura che in una singola cellula equivale al cervello deve anche disporre di un *protocollo di reazione*: un insieme di regole estremamente semplici, in base alle quali prendere la «decisione di muoversi» quando sono soddisfatte particolari condizioni.

In breve, i requisiti minimi che questi semplici organismi dovevano possedere per avere successo e trasmettere i propri geni alla generazione successiva erano la capacità di *rilevare* le caratteristiche dell'ambiente interno ed esterno, un *protocollo di reazione* e il *movimento*. Il cervello evolse come dispositivo in grado di migliorare le operazioni di rilevamento, decisione e movimento gestendole in modo sempre più efficiente e differenziato.

Il movimento venne infine perfezionato grazie allo sviluppo della muscolatura striata, il tipo di tessuto muscolare di cui oggi gli esseri umani si servono per camminare e parlare. Come vedremo nel capitolo 3, la capacità di rilevare le condizioni interne dell'organismo – capacità che oggi chiamiamo *enterocezione* – si espanse fino a controllare un gran numero di parametri, fra i quali per esempio il pH, la temperatura, la presenza o assenza di numerose sostanze chimiche, lo stato di tensione della muscolatura liscia. Per quanto riguarda le caratteristiche dell'ambiente esterno, il loro rilevamento – che nell'insieme designiamo con il termine *esterocezione* – finì per comprendere l'olfatto, il gusto, la sensibilità al contatto e alle vibrazioni, l'udito e la vista.

Affinché sensibilità e movimento siano della massima utilità, il protocollo di reazione deve in qualche modo

somigliare a un piano strategico d'impresa a trecentosessanta gradi, nel quale siano implicitamente contenute le condizioni che ispirano la politica aziendale. A tutti i livelli di complessità, il *piano omeostatico* che troviamo nelle diverse creature consiste esattamente in questo: un insieme di linee guida che l'organismo deve seguire per raggiungere i suoi obiettivi. L'essenza delle linee guida è molto semplice: in presenza di *X*, fai *Y*.

Quando esaminiamo lo spettacolo dell'evoluzione, rimaniamo sbalorditi dai suoi numerosi importanti risultati. Consideriamo, per esempio, lo sviluppo degli occhi: non solo di quelli che somigliano ai nostri, ma anche di altre varietà che svolgono la loro funzione usando mezzi leggermente diversi. Non meno stupefacente è il prodigio dell'ecolocalizzazione, che permette ai pipistrelli e ai gufi di andare a caccia nell'oscurità più completa, facendosi guidare da una squisita capacità di localizzare i suoni nello spazio tridimensionale. Di certo non meno spettacolare è l'evoluzione di un protocollo di reazione capace di portare l'organismo a uno stato di omeostasi.

La logica che giustifica l'esistenza di un protocollo di reazione è il raggiungimento di un obiettivo omeostatico. Come ho accennato in precedenza, però, anche in presenza di un obiettivo chiarissimo, affinché un protocollo di reazione sia eseguito in modo efficace, occorre qualcos'altro. Perché una certa azione sia realizzata in maniera efficiente e corretta, occorre che vi sia un *incentivo*, così che in determinate circostanze alcuni tipi di risposta siano favoriti rispetto ad altri. Per i tessuti viventi, infatti, alcune circostanze possono essere così negative da richiedere con urgenza la rapida attuazione di una correzione drastica, letteralmente fulminea. Allo stesso modo, per i tessuti viventi, alcune opportunità possono essere talmente favorevoli che le reazioni positive nei loro confronti devono essere selezionate e intraprese in tempi brevi. Proprio qui troviamo i complessi dispositivi

alla base di quelle che, dalla nostra prospettiva umana, abbiamo chiamato «ricompensa» e «punizione»: i protagonisti nella coreografia dell'esplorazione motivata. Si noti che nessuna di queste operazioni necessita di una mente, e meno che mai di una mente dotata di coscienza. All'interno o all'esterno di un organismo non vi è alcun «soggetto» ufficiale che si comporti come un «dispensatore di ricompense» o come un «dispensatore di punizioni». Nondimeno, «ricompense» e «punizioni» sono somministrate in base allo schema dei protocolli di reazione. Tutta l'operazione è cieca e «senza soggetto», proprio come le reti geniche. L'assenza della mente e del sé è perfettamente compatibile con «intenzioni» e «scopi» spontanei e impliciti. La fondamentale «intenzione» dello schema è quella di conservare stato e struttura; tuttavia, a partire da queste molteplici intenzioni, è possibile risalire a uno «scopo» di più ampia portata: la sopravvivenza.

Quello che sto suggerendo è che i meccanismi di *incentivazione* sono necessari per ottenere una guida efficace del comportamento, ovvero un'esecuzione ben riuscita ed economica del piano strategico della cellula. Sto anche ipotizzando che tanto i meccanismi di incentivazione, quanto la guida del comportamento non siano emersi da processi coscienti di deliberazione e riflessione. Non vi era infatti alcuna conoscenza esplicita e nessun sé pensante.

Gli organismi che, come il nostro, sono dotati di mente e coscienza hanno gradualmente acquisito la conoscenza dei processi che guidano i meccanismi di incentivazione. La mente cosciente non fa che rivelare il meccanismo evolutivo di regolazione dei processi vitali esistente da tempo. Quel meccanismo, però, non è stato creato dalla mente cosciente. La storia reale ribalta le nostre intuizioni: la sequenza storica reale è invertita.

Come si svilupparono gli incentivi? Evidentissimi negli organismi il cui cervello è in grado di misurare *quanto* sia necessaria una certa correzione, gli incentivi comparvero tuttavia in organismi semplicissimi. Affinché avesse luogo la misurazione, il cervello necessitava di una rappresentazione 1) dello stato del tessuto vivente *in tempo reale,* 2) del suo stato *desiderabile* corrispondente all'obiettivo omeostatico e 3) di un semplice confronto. A tale scopo fu sviluppata una scala interna che indicasse la distanza dello stato attuale dall'obiettivo; al tempo stesso, per facilitare la correzione, furono adottate molecole che con la loro presenza acceleravano alcune risposte. Noi percepiamo ancora gli stati del nostro organismo grazie a una scala di quel genere: è qualcosa che facciamo in modo assolutamente inconscio, anche se ogni volta che abbiamo (molta) fame, o non ne abbiamo affatto, siamo perfettamente coscienti delle conseguenze di tale misurazione.

Quelli che percepiamo come sentimenti di dolore o piacere, o come punizioni o ricompense, corrispondono direttamente agli stati integrati dei tessuti viventi, così come essi si succedono nella naturale gestione dei processi vitali di un organismo. Le mappe cerebrali degli stati in cui i parametri tissutali si discostano significativamente dall'intervallo omeostatico, andando in una direzione *non* favorevole alla sopravvivenza, sono esperite con una qualità che abbiamo chiamato «dolore» e «punizione». Allo stesso modo, quando i tessuti operano nel settore più favorevole dell'intervallo omeostatico, le mappe cerebrali degli stati corrispondenti sono esperite con una qualità che abbiamo chiamato «piacere» e «ricompensa».

Gli agenti implicati nell'orchestrazione di questi stati tissutali sono denominati ormoni e neuromodulatori ed erano già presenti nei semplici organismi costituiti da un'unica cellula. Noi sappiamo come operano queste

molecole: per esempio, quando un dato tessuto sta rischiando la propria salute a causa di un livello pericolosamente basso di nutrienti, negli organismi dotati di cervello quest'ultimo rileva il cambiamento e determina l'entità del bisogno e l'urgenza con cui il cambiamento deve essere corretto. Questo accade in modo inconscio; nei cervelli dotati di mente e coscienza, d'altra parte, lo stato corrispondente a questa informazione può diventare conscio. Se e quando ciò accade, il soggetto sperimenta un sentimento negativo che può spaziare dal disagio al dolore. Con o senza coscienza del processo, l'organismo intraprende una catena di risposte correttive chimiche e neurali alla quale contribuiscono molecole che accelerano il processo. Nel caso di un cervello cosciente, però, la conseguenza di tale processo molecolare non è la mera correzione dello squilibrio: è anche da un lato la riduzione di un'esperienza negativa qual è il dolore, e dall'altro un'esperienza di piacere/ricompensa. Quest'ultima deriva in parte dallo stato favorevole alla vita ora probabilmente raggiunto dal tessuto. Alla fine, è probabile che la semplice azione delle molecole incentivanti collochi l'organismo nella configurazione funzionale associata agli stati piacevoli.

La comparsa di strutture cerebrali in grado di rilevare la probabile erogazione di stimoli positivi («benefici») o negativi («minacce») ebbe anch'essa la sua importanza. Specificamente, oltre a rilevare stimoli positivi e negativi in quanto tali, il cervello cominciò a servirsi di indizi per *prevederne* l'erogazione: segnalando l'arrivo di stimoli positivi mediante la liberazione di molecole come la dopamina o l'ossitocina; oppure, in caso contrario, segnalando minacce incombenti con il fattore di rilascio del cortisolo o con la prolattina. La liberazione di queste molecole, a sua volta, ottimizzava il comportamento necessario per ottenere, o evitare, l'erogazione dello stimolo. Allo stesso modo, il cervello usava molecole per segnalare un indizio non corretto (un errore di previsione) e per comportarsi di conseguenza; distin-

gueva l'arrivo di un oggetto atteso e quello di un oggetto inatteso con diversi gradi di intensità di scarica neuronale e con la corrispondente liberazione di una molecola (per esempio la dopamina). Il cervello divenne anche capace di usare configurazioni di stimoli – per esempio la *ripetizione* o *l'alternanza* – per prevedere che cosa stesse per accadere. Quando due stimoli si presentavano a breve distanza l'uno dall'altro, ciò indicava la possibilità che ne arrivasse un terzo.

Quale fu il risultato di tutto questo? In primo luogo, una risposta più o meno urgente a seconda delle circostanze – in altre parole, una risposta *differenziale*. In secondo luogo, la produzione di risposte ottimizzate grazie alla previsione.

Il design omeostatico e i suoi dispositivi di incentivazione e previsione proteggevano l'integrità del tessuto vivente all'interno di un organismo. Curiosamente, lo stesso insieme di meccanismi fu cooptato per assicurare che l'organismo si impegnasse in comportamenti riproduttivi tali da favorire la trasmissione dei geni. L'attrazione e il desiderio sessuale, come pure i rituali di accoppiamento, ne sono altrettanti esempi. In superficie, i comportamenti associati rispettivamente alla regolazione dei processi vitali e alla riproduzione si separarono; l'obiettivo più profondo, però, rimase lo stesso, e pertanto non sorprende che i meccanismi siano comuni.

Nel corso dell'evoluzione, i programmi alla base dell'omeostasi divennero più complessi, sia per quanto riguarda le condizioni che ne inducevano l'attivazione, sia per quanto riguarda la gamma dei risultati. A poco a poco, questi programmi più complessi divennero ciò che noi conosciamo come impulsi, motivazioni ed emozioni (si veda il capitolo 5).

In breve, l'omeostasi richiede impulsi e motivazioni: ausili che un cervello complesso fornisce in abbondanza grazie alle capacità di anticipazione e previsione, espri-

mendoli nell'esplorazione dell'ambiente. Di sicuro gli esseri umani hanno i sistemi motivazionali più avanzati – completati da una curiosità infinita, una forte spinta alla ricerca e sofisticati sistemi di allerta nei confronti dei futuri bisogni –, il tutto inteso a mantenerci, per così dire, sulla sponda sicura del guado.

IL LEGAME FRA OMEOSTASI, VALORE E COSCIENZA

Gli oggetti e le azioni ai quali siamo arrivati ad attribuire valore sono, direttamente o indirettamente, legati alla possibilità di conservare un intervallo omeostatico negli organismi viventi. Sappiamo inoltre che, entro quell'intervallo, alcuni settori e alcune configurazioni sono associati a una regolazione ottimale dei processi vitali; altri sono invece meno efficienti, e altri ancora sono più vicini alla zona di pericolo, all'interno della quale possono verificarsi malattia e morte. È dunque ragionevole attribuire un maggior valore a oggetti e azioni che – in un modo o nell'altro – indurranno una regolazione ottimale.[9]

Già sappiamo in che modo gli esseri umani riconoscono il settore ottimale dell'intervallo omeostatico senza alcun bisogno di farsi controllare la biochimica ematica in laboratorio. La diagnosi non richiede alcuna esperienza particolare, ma solo il fondamentale processo della coscienza: *nella mente cosciente, gli intervalli ottimali si esprimono come sentimenti piacevoli; gli intervalli pericolosi come sentimenti non troppo piacevoli o addirittura dolorosi.*

È possibile immaginare un sistema di rilevamento più trasparente? Il funzionamento ottimale di un organismo, che dà luogo a stati vitali armoniosi ed efficienti, costituisce il substrato stesso dei nostri sentimenti primordiali di benessere e piacere. Essi sono il fondamento di quella che, in contesti molto sofisticati, chiamiamo felicità. Per contro, gli stati vitali caratterizzati da disorga-

nizzazione, inefficienza e mancanza di armonia, veri e propri presagi di malattia e malfunzionamento, costituiscono il substrato dei sentimenti negativi; come osservò assai giustamente Tolstoj, le varietà di questi ultimi sono molto più numerose di quelle dei sentimenti positivi: un infinito assortimento di dolori e sofferenze, per non menzionare disgusto, paura, rabbia, tristezza, vergogna, senso di colpa e disprezzo.

Come vedremo, l'aspetto che definisce i sentimenti emozionali è la lettura cosciente degli stati del corpo modificati dalle emozioni: ecco perché i sentimenti possono servire da barometro della gestione dei processi vitali. Ed è ancora per questo che – fin da quando gli esseri umani ne divennero consapevoli – i sentimenti hanno influenzato le società e le culture insieme a tutti i loro meccanismi e i loro artefatti, cosa che peraltro non sorprende. Tuttavia, molto prima dell'alba della coscienza e dell'emergere dei sentimenti coscienti – di fatto, perfino prima dell'alba della mente in quanto tale –, la configurazione dei parametri chimici già influenzava i comportamenti individuali di creature semplici che non possedevano un cervello in grado di rappresentare quei parametri. Questo è molto logico: gli organismi non dotati di mente dovevano affidarsi ai parametri chimici per guidare le azioni necessarie alla propria sopravvivenza. Questa guida «cieca» comprendeva comportamenti di considerevole complessità. Lo sviluppo di diversi tipi di batteri in una colonia è governato da tali parametri e può addirittura essere descritto in termini sociali: le colonie di batteri praticano normalmente all'interno del proprio gruppo il *quorum sensing*, o «rilevamento del quorum», e si muovono letteralmente guerra per non perdere il possesso del territorio e delle risorse. Lo fanno anche quando si trovano all'interno del nostro corpo, dove competono per aggiudicarsi diritti di proprietà sulla nostra gola o sul nostro intestino. Non appena apparvero sulla scena sistemi nervosi semplicissimi, però, il comportamento sociale divenne ancora più chiaro.

Consideriamo i vermi nematodi: un nome forbito per indicare un tipo di verme scientificamente interessante, con un comportamento sociale molto sofisticato.

Il cervello di un nematode come *Caenorhabditis elegans* ha soltanto 302 neuroni organizzati in una catena di gangli: di certo nulla di cui andare troppo orgogliosi. Come qualsiasi altro essere vivente, i nematodi devono nutrirsi per sopravvivere. A seconda della scarsità o dell'abbondanza del cibo e delle minacce ambientali, essi vanno – per così dire – a pranzo in modo più o meno gregario. Se il cibo è disponibile e l'ambiente è tranquillo, mangiano da soli; ma se il cibo scarseggia o se nell'ambiente è rilevabile una minaccia (per esempio un certo tipo di odore), allora pranzano in gruppo. Inutile dire che non sanno davvero che cosa stanno facendo, e meno che mai perché lo fanno. Se si comportano come si comportano è perché il loro cervello straordinariamente semplice, privo di una mente e a maggior ragione di una coscienza, usa i segnali provenienti dall'ambiente per intraprendere l'uno o l'altro tipo di azione.

Immaginiamo ora che io abbia descritto la situazione di *C. elegans* in astratto, delineando le condizioni e i comportamenti ma senza accennare al fatto che si tratta di vermi; e ora immaginiamo che io chieda a qualcuno di mettersi nei panni di un sociologo e di commentare la situazione. Suppongo che costui rileverebbe evidenze di cooperazione interindividuale, e potrebbe addirittura riconoscere delle preoccupazioni altruistiche. Potrebbe perfino pensare che io stessi parlando di creature complesse, magari di esseri umani primitivi. La prima volta che ho letto gli articoli di Cornelia Bargmann con la descrizione di questi risultati, mi vennero in mente i sindacati e il concetto di sicurezza nel numero.[10] Eppure *C. elegans* non è che un verme.

Il fatto che gli stati omeostaticamente ideali siano la dotazione più preziosa di un organismo vivente ha an-

che un'altra implicazione: il vantaggio fondamentale rappresentato dalla coscienza, a qualsiasi livello la si voglia considerare, scaturisce infatti dal miglioramento che essa comporta nella regolazione dei processi vitali in ambienti sempre più complessi.[11]

La sopravvivenza in nuove nicchie ecologiche risultò favorita dal possesso di cervelli abbastanza complessi da creare una mente: uno sviluppo che, come spiegherò nella seconda parte, è fondato sulla costruzione di mappe neurali e di immagini. Una volta emersa la mente – sebbene ancora non impregnata di una coscienza pienamente sviluppata –, la regolazione automatica dei processi vitali risultò ottimizzata. I cervelli che producevano immagini disponevano ora di un maggior numero di dettagli riguardanti le condizioni interne ed esterne all'organismo e quindi potevano generare risposte più differenziate ed efficaci rispetto ai cervelli non dotati di mente. Quando poi la mente delle specie non umane poté dotarsi di coscienza, la regolazione automatica acquisì un potente alleato: un mezzo per concentrare lo sforzo di sopravvivenza sul sé nascente che adesso rappresentava l'organismo in lotta per la propria conservazione. Ovviamente, negli esseri umani, poiché la coscienza coevolse con la memoria e la ragione permettendo la pianificazione offline e il pensiero riflessivo, quell'alleato divenne ancora più potente.

La regolazione dei processi vitali centrata sul sé coesiste sempre, sorprendentemente, con i meccanismi della regolazione automatica che rappresentano un'eredità evolutiva di tutte le creature coscienti. Questo è verissimo anche nel caso degli esseri umani. Gran parte della nostra attività di regolazione procede – per fortuna – in modo inconscio. Di certo non vorremmo gestire il nostro sistema endocrino o la nostra funzione immunitaria *coscientemente*: infatti non abbiamo alcun modo di controllare con sufficiente tempestività le loro oscillazioni caotiche. Nel migliore dei casi, sarebbe come pilotare un moderno aviogetto in modalità manuale: un'impresa

certo non da poco, che richiederebbe il controllo di tutti i possibili eventi casuali e la padronanza di tutte le manovre necessarie per evitare uno stallo. Nel caso peggiore, sarebbe come mettersi a giocare in Borsa investendo i contributi per la previdenza sociale. Senza contare che non sarebbe nemmeno auspicabile avere il controllo assoluto su una cosa semplice come la respirazione: uno potrebbe decidere di fare la traversata della Manica nuotando sott'acqua, in apnea, rischiando di perdere la vita nell'impresa. Per fortuna, i nostri dispositivi automatizzati non permetterebbero mai una simile sciocchezza.

La coscienza ha aumentato l'adattabilità, ha consentito ai suoi beneficiari di creare nuove soluzioni per i problemi legati alla vita e alla sopravvivenza, e ha permesso di farlo praticamente in qualsiasi ambiente concepibile: ovunque sulla terra, nell'atmosfera e nello spazio esterno, e anche sott'acqua, nei deserti e sulle montagne. Siamo evoluti per *adattarci* a moltissime nicchie e possiamo *imparare ad adattarci* a molte altre ancora. Non ci sono mai spuntate ali o branchie, ma abbiamo inventato macchine che hanno ali o possono lanciarci nella stratosfera; e ne abbiamo inventate altre che solcano la superficie degli oceani o viaggiano ventimila leghe sotto di essa. Abbiamo realizzato le condizioni materiali per vivere ovunque desideriamo. Un'ameba non può farlo; e non possono farlo nemmeno i vermi, i pesci, gli anfibi, gli uccelli, gli scoiattoli, i cani o i gatti; e neppure i nostri intelligentissimi cugini, gli scimpanzé.

Quando il cervello degli esseri umani cominciò a mettere insieme la mente cosciente, le regole del gioco furono rivoluzionate. Passammo da una regolazione semplice, concentrata sulla sopravvivenza dell'organismo, a forme di regolazione sempre più ponderate, basate su una mente dotata di identità e personalità e ora attivamente alla ricerca non più della mera sopravvivenza, ma di una collocazione all'interno di specifici intervalli di benessere: davvero un gran bel salto, anche se – per quanto ne sappiamo – costruito sulla continuità biologica.

Nel corso dell'evoluzione, il cervello si affermò in quanto offriva più ampie possibilità di regolazione dei processi vitali; in seguito, analogamente, i sistemi cerebrali che portarono alla mente cosciente si affermarono perché offrivano le più ampie possibilità di adattamento e di sopravvivenza insieme al tipo di regolazione in grado di mantenere e aumentare il benessere.

In breve, gli organismi unicellulari dotati di nucleo hanno la volontà – seppure non sostenuta da una mente o da una coscienza – di vivere e di gestire i processi vitali in modo sufficientemente appropriato, fintanto che alcuni geni consentono loro di farlo. Il cervello espanse quelle possibilità di gestione anche nei casi in cui non diede luogo a una mente, e meno che mai a una mente cosciente. Per questo motivo si affermò. Quando a questa miscela si aggiunsero mente e coscienza, le possibilità di regolazione andarono incontro a un ulteriore ampliamento e aprirono la strada al tipo di gestione che ha luogo non soltanto all'interno di un singolo organismo, ma anche nelle società composte da numerosi individui. La coscienza permise agli esseri umani di ripetere il leitmotiv della regolazione dei processi vitali avvalendosi di un insieme di strumenti culturali quali scambi economici, credenze religiose, convenzioni sociali e norme etiche, come pure sistemi giuridici, arti, scienza e tecnologia. Nondimeno, l'intenzione di sopravvivere presente nella cellula eucariotica e l'intenzione di sopravvivere implicita nella coscienza umana sono la stessa identica cosa.

Dietro all'edificio imperfetto ma ammirevole che le culture e le civiltà hanno costruito per noi, il problema fondamentale da affrontare rimane quello della regolazione dei processi vitali. Ugualmente importante, la motivazione alla base della maggior parte delle conquiste messe a segno dalle culture e dalle civiltà dell'uomo dipende da quello stesso problema e dal bisogno di gestire i comportamenti degli esseri umani impegnati ad affrontarlo. La regolazione dei processi vitali è alla radice

di numerose questioni che richiedono una spiegazione in un contesto biologico generale e umano in particolare: l'esistenza del cervello; l'esistenza del dolore, del piacere, delle emozioni e dei sentimenti; i comportamenti sociali; le religioni; le economie con i loro mercati e le loro istituzioni finanziarie; i comportamenti morali; le leggi e la giustizia; la politica; l'arte, la tecnologia e la scienza. Come il lettore può constatare, un elenco di poco conto.

La vita e le condizioni che ne sono parte integrante – l'irreprimibile imperativo di sopravvivere e il complicato compito di gestire la sopravvivenza in un organismo, a prescindere dal fatto che esso sia unicellulare o costituito da milioni di miliardi di cellule – sono le cause profonde dell'emergere e dell'evolvere del cervello (il dispositivo di gestione più elaborato mai assemblato dall'evoluzione), come pure la causa profonda di tutto quanto scaturì dall'evoluzione di cervelli sempre più raffinati, all'interno di corpi sempre più complicati, in ambienti sempre più complessi.

Se consideriamo molti aspetti delle funzioni cerebrali attraverso il filtro di questa idea – e cioè che un cervello esiste per gestire i processi vitali all'interno di un corpo –, le stranezze e i misteri di alcune categorie tradizionali della psicologia (emozione, percezione, memoria, linguaggio, intelligenza *e* coscienza) diventano, rispettivamente, meno strane e molto meno misteriosi: sviluppano anzi una ragionevolezza trasparente, una logica inevitabile e accattivante. Come potremmo essere diversamente – sembrano chiederci – visto il lavoro che dobbiamo fare?

PARTE SECONDA

QUALI SONO, NEL CERVELLO, LE POSSIBILI SEDI DELLA MENTE?

3
LA CREAZIONE DI MAPPE E IMMAGINI

MAPPE E IMMAGINI

La gestione dei processi vitali è indiscutibilmente la principale funzione del cervello umano; di certo, però, non è il suo aspetto più esclusivo. Come abbiamo visto, i processi vitali possono essere gestiti anche senza un sistema nervoso, e a maggior ragione senza un cervello pienamente sviluppato. In fatto di manutenzione, anche i modesti organismi unicellulari se la cavano benissimo.

L'aspetto distintivo dei cervelli come il nostro è la prodigiosa abilità di creare mappe. Questa operazione è essenziale per una gestione sofisticata, giacché la formazione di mappe e il controllo dei processi vitali vanno di pari passo. Quando il cervello crea delle mappe, *informa* se stesso. L'informazione contenuta nelle mappe può essere usata, senza coinvolgere la coscienza, per guidare in modo efficace il comportamento motorio: risultato quanto mai desiderabile se si considera che la sopravvivenza dipende dal fatto che si compiano o meno le azioni appropriate. Quando un cervello crea delle mappe, però, sta creando anche delle immagini, ovvero la fondamentale valuta usata dalla nostra mente. In ultima analisi, la coscienza ci permette di esperire le mappe come immagini e di manipolare queste ultime applicando loro il ragionamento.

Le mappe vengono costruite quando interagiamo con gli oggetti – per esempio con una persona, una macchina, un luogo – dall'esterno del cervello verso l'interno. Non sottolineerò mai abbastanza la parola *interazione*. Essa ci ricorda che spesso la creazione di mappe – creazione che, come ho accennato sopra, è essenziale per migliorare l'azione – inizialmente ha luogo, appunto, nel contesto di un'azione. Azione e mappe, movimento e mente sono parte di un ciclo infinito: un'idea colta in modo assai suggestivo da Rodolfo Llinás quando attribuisce la nascita della mente al controllo esercitato dal cervello sul movimento organizzato.[1]

La costruzione di mappe avviene anche quando richiamiamo gli oggetti dagli archivi della memoria custoditi nel nostro cervello. Come dimostrano i sogni, questa attività non si ferma mai, nemmeno durante il sonno. Il cervello umano traccia mappe di qualsiasi oggetto e di qualsiasi azione si trovino esternamente a esso, e di tutte le relazioni che oggetti e azioni intrattengono nello spazio e nel tempo, sia tra di loro, sia nei confronti di quella sorta di nave ammiraglia che è l'organismo: unico proprietario del nostro corpo, del nostro cervello e della nostra mente. Il cervello umano è un cartografo nato e la cartografia iniziò con la mappatura del corpo all'interno del quale esso è collocato.

Il cervello umano è un incontenibile imitatore. Qualsiasi cosa si trovi al suo esterno – il resto del corpo, naturalmente, dalla cute alle viscere; ma anche il mondo circostante, fatto di uomini, donne e bambini, gatti e cani, luoghi, clima caldo e freddo, superfici lisce e ruvide, suoni forti e sommessi, il miele dolce e il pesce salato – è oggetto di imitazione nelle reti cerebrali. In altre parole, il cervello ha la capacità di rappresentare alcuni aspetti della struttura di oggetti ed eventi non cerebrali, comprese le azioni eseguite dal nostro organismo e dalle sue parti (per esempio gli arti, le componenti dell'apparato di fonazione, eccetera). Stabilire esattamente come avvenga la mappatura è più facile a dirsi che a farsi. Non si

tratta di ottenere una mera copia, di un trasferimento passivo di informazioni dall'esterno all'interno del cervello. La composizione d'insieme creata dai sensi implica un contributo attivo proveniente dall'interno del cervello, disponibile fin dai primi stadi di sviluppo: l'idea che il cervello sia una tabula rasa ha ormai da tempo perso favore.[2] Spesso – come accennato prima – la composizione ha luogo nel contesto del movimento.

Una breve nota sulla terminologia. Un tempo ero molto rigido circa l'uso del termine *immagine* solo come sinonimo di configurazione o immagine mentale, mentre usavo il termine *configurazione neurale* o *mappa* per riferirmi a una particolare configurazione di attività *nel cervello*, distinto dalla mente. Il mio intento era di riconoscere che la mente – che io considero parte dell'attività del tessuto cerebrale – merita una sua descrizione, sia a causa della natura privata dell'esperienza che la riguarda, sia perché l'esperienza privata è esattamente il fenomeno che desideriamo spiegare; quanto alla descrizione degli eventi neurali con il loro vocabolario appropriato, essa era parte dello sforzo teso a comprendere il ruolo di quegli eventi nel processo della mente. Tenendo separati i livelli di descrizione, non stavo assolutamente suggerendo che si trattasse di sostanze separate, una mentale e l'altra biologica. Io non sono un sostenitore del dualismo della sostanza come lo era – o si spacciava di essere – Cartesio quando diceva che il corpo ha un'estensione fisica che la mente non ha, perché le due cose sono fatte di sostanze diverse. Stavo semplicemente soffermandomi su un dualismo dell'*aspetto*, discutendo il modo in cui le cose appaiono quando si presentano all'esperienza superficiale. Ma naturalmente anche il mio amico Spinoza – lui, classico paladino del monismo, proprio l'opposto del dualismo – faceva altrettanto.

E tuttavia, a che scopo complicare le cose, per me stesso e per il lettore, usando termini distinti per riferirmi a

due cose che credo essere equivalenti? In tutto questo libro, userò i termini *immagine, mappa* e *configurazione neurale* in modo quasi intercambiabile. A volte sfumerò anche il confine fra mente e cervello, e lo farò deliberatamente, per sottolineare il fatto che la distinzione, sebbene valida, può ostacolare la visuale di quanto stiamo cercando di spiegare.

SOTTO LA SUPERFICIE

Supponiamo di tenere in mano un cervello e di osservare la superficie della corteccia cerebrale. Ora, immaginiamo di prendere un bisturi ben affilato e di praticare delle incisioni *parallelamente* alla superficie, a una profondità di due o tre millimetri, asportandone così una lamina sottile. Dopo aver fissato e colorato i neuroni con un reagente chimico adatto, è possibile deporre il tessuto così preparato su un vetrino e osservarlo al microscopio. Scopriremo allora, in ogni strato corticale esaminato, una struttura laminare che ricorda essenzialmente un reticolo quadrato bidimensionale. I principali elementi del reticolo sono i neuroni, disposti orizzontalmente. Possiamo immaginare qualcosa di simile a una cartina di Manhattan, purché eliminiamo Broadway, visto che nei reticoli corticali non esistono importanti linee oblique. Si capisce immediatamente che questa disposizione è ideale per una rappresentazione topografica esplicita di oggetti e azioni.

Osservando la sezione di un'area circoscritta di corteccia cerebrale, è facile capire perché – sebbene anche altre parti del cervello possano creare mappe a bassa risoluzione – quelle più dettagliate nascano proprio qui. Uno degli strati corticali, il quarto, è probabilmente responsabile della creazione di gran parte delle mappe più ricche di dettagli. Osservando una piccola area di corteccia cerebrale, ci si rende anche conto del perché

l'idea delle mappe cerebrali non sia una metafora troppo spinta. Su un reticolo di quel genere, infatti, è possibile tracciare degli schemi, e se si strizzano un po' gli occhi e ci si lascia andare all'immaginazione, si riesce a visualizzare quel tipo di pergamena su cui probabilmente Enrico il Navigatore rifletteva quando progettava i viaggi dei suoi capitani. Una grande differenza, naturalmente, sta nel fatto che in una mappa cerebrale le linee non sono tracciate con la penna o la matita, ma sono il risultato della temporanea attività di alcuni neuroni e della simultanea inattività di altri. Quando certi neuroni si trovano in stato di «on» in una particolare distribuzione spaziale, ecco che viene «tracciata» una linea, retta o curva, spessa o sottile, creando così un disegno distinto rispetto allo sfondo dei neuroni in stato di «off». Un'altra grossa differenza: il principale strato orizzontale che produce le mappe è inserito fra altri strati, sopra e sotto; ciascun elemento dello strato fa quindi anche parte di una disposizione verticale di elementi, più precisamente di una colonna, ciascuna delle quali contenente centinaia di neuroni. Le colonne forniscono alla corteccia cerebrale input provenienti da altre regioni del cervello, oppure dalle sonde sensoriali periferiche (per esempio gli occhi), oppure anche dal resto del corpo. Le colonne, inoltre, inviano output a quelle stesse regioni, ed eseguono varie integrazioni e modulazioni dei segnali elaborati in ogni sito.

Le mappe cerebrali non sono statiche come quelle della cartografia classica: sono imprevedibili, cambiano da un momento all'altro per riflettere i cambiamenti che hanno luogo nei neuroni che le alimentano, cambiamenti che a loro volta riflettono le modificazioni in corso all'interno nel nostro corpo e nel mondo intorno a noi. Le modificazioni delle mappe cerebrali riflettono anche il fatto che noi siamo in costante movimento. Ci avviciniamo agli oggetti o ci allontaniamo da essi; un attimo prima possiamo toccarli e subito dopo essi sono fuori dalla nostra portata; possiamo assaggiare un vino,

ma ben presto il suo gusto svanisce; ascoltiamo della musica, che poi però tace; anche il nostro corpo, soggetto com'è a diverse emozioni, si modifica e sopravvengono sentimenti differenti. L'intero ambiente offerto al cervello è in perpetuo cambiamento: sia spontaneamente, sia per effetto delle nostre attività; le mappe corrispondenti che esso crea cambiano di conseguenza.

Il tipo di immagine che si vede nei tabelloni elettronici, in cui il disegno è tracciato da elementi luminosi attivi e inattivi (lampadine o diodi luminosi), può essere una moderna analogia con quanto accade nel cervello, in una mappa visiva. L'analogia con le mappe elettroniche è quanto mai calzante perché il loro contenuto può rapidamente cambiare, solo modificando la distribuzione degli elementi attivi rispetto a quelli inattivi. Ciascuna distribuzione di elementi attivi e inattivi costituisce, nel tempo, una configurazione. All'interno della stessa piccola area di corteccia visiva, differenti distribuzioni di attività possono disegnare – in successione o addirittura in sovrapposizione – una croce, un quadrato, oppure una faccia. Le mappe possono essere tracciate, ritracciate e sovrascritte, a velocità fulminea.

Lo stesso tipo di «disegno» ha luogo anche nella retina, un complesso avamposto del cervello. Anche qui vi è un reticolo quadrato per tracciare mappe: quando i fotoni – particelle di luce – colpiscono la retina nella particolare distribuzione che corrisponde a una configurazione specifica, i neuroni attivati in quella configurazione – poniamo, un cerchio o una croce – costituiscono una mappa neurale transitoria. In base a questa mappa retinica originale, nei livelli successivi del sistema nervoso si formeranno poi altre mappe: l'attività in ciascun punto della mappa retinica viene infatti segnalata lungo una catena che culmina nelle cortecce visive primarie, conservando le relazioni geometriche originariamente esistenti fra i punti della mappa retinica: una proprietà, questa, detta *retinotopia.*

Sebbene le aree corticali eccellano nella creazione di

mappe dettagliate, alcune strutture subcorticali sono anch'esse in grado di creare mappe grossolane. Alcuni esempi di tali strutture sono i corpi genicolati, i collicoli, il nucleo del tratto solitario e il nucleo parabrachiale. I corpi genicolati sono rispettivamente dedicati ai processi visivi e uditivi. Anch'essi hanno una struttura laminare stratificata ideale per realizzare rappresentazioni topografiche. Il collicolo superiore è un importante generatore di mappe visive che è anche in grado di mettere in rapporto con mappe uditive e riferite al corpo. Il collicolo inferiore è dedicato all'elaborazione uditiva. L'attività del collicolo superiore può essere un precursore dei processi della mente e del sé che fioriscono poi nelle cortecce cerebrali. Per quanto riguarda il nucleo del tratto solitario e il nucleo parabrachiale, sono i primissimi generatori, nel sistema nervoso centrale, di mappe del corpo *in toto*: mappe la cui attività, come vedremo, corrisponde ai sentimenti primordiali.

La creazione di mappe si applica alle configurazioni riconducibili non soltanto alla vista, ma a *ogni* tipo di modalità sensoriale che il cervello sia impegnato a costruire. La mappatura del suono, per esempio, ha inizio su entrambi i lati, nell'orecchio interno, a livello della coclea, che è il corrispondente uditivo della retina. La coclea riceve gli stimoli meccanici che risultano dalla vibrazione della membrana timpanica e di una serie di ossicini localizzati a ridosso di essa. Nella coclea, le cellule equivalenti ai neuroni retinici sono denominate « cellule acustiche ». Ciascuna di esse è sormontata da un ciuffo di ciglia che si muove per effetto dell'energia del suono innescando una corrente elettrica captata dai terminali di un neurone localizzato nel ganglio cocleare. Questo neurone invia messaggi al cervello attraverso una catena formata da sei stazioni distinte: il nucleo cocleare, il nucleo olivare superiore, il nucleo del lemnisco laterale, il collicolo inferiore, il nucleo genicolato mediale e, infine, la cortec-

cia uditiva primaria. In termini gerarchici, quest'ultima è paragonabile alla corteccia visiva primaria. All'interno della corteccia cerebrale la corteccia uditiva è il primo anello di un'ulteriore catena di segnalazione.

Proprio come le primissime mappe visive si formano nella retina, le primissime mappe uditive si formano nella coclea. In che modo? La coclea è una rampa a spirale con una forma complessivamente conica. Ricorda la conchiglia di una chiocciola, come del resto suggerisce la radice latina della parola *coclea*. Chi è stato al Guggenheim Museum di New York può facilmente visualizzare che cosa accade all'interno di quest'organo. Tutto quello che occorre fare è immaginare che le spire vadano restringendosi a mano a mano che si sale, e che la forma complessiva dell'edificio sia un cono con la punta rivolta verso l'alto. La rampa lungo la quale si cammina è avvolta intorno all'asse verticale del cono, proprio come la coclea. All'interno della rampa a spirale, le cellule acustiche sono disposte secondo un ordine raffinato, in base alle frequenze alle quali rispondono. Le cellule sensibili alle frequenze più alte sono localizzate alla base della coclea; a mano a mano che si sale lungo la rampa, seguono – in ordine decrescente – le altre frequenze, fino all'apice della coclea, dove le cellule acustiche rispondono alle frequenze più basse. Si comincia con gli acuti da soprano, per finire con i bassi profondi. Il risultato è una mappa tonotopica, ovvero una mappa spaziale dei toni possibili, ordinati in base alla frequenza. Quello che è davvero straordinario è che una versione di questa mappa viene replicata in corrispondenza di ognuna delle cinque stazioni successive del sistema uditivo, lungo la via che porta alla corteccia dedicata, dove la mappa finalmente viene presentata su una superficie laminare. Quando i neuroni si attivano lungo la catena uditiva e quando il layout corticale finale distribuisce spazialmente tutte le ricche sottostrutture dei suoni che arrivano al nostro orecchio, ecco che noi sentiamo suonare un'orchestra o la voce di un cantante.

Lo schema della mappatura si applica ovunque a configurazioni che hanno a che fare con la struttura del corpo, per esempio a un arto e ai suoi movimenti, oppure alla soluzione di continuità della cute causata da una scottatura, o alle configurazioni derivanti dal toccare le chiavi della macchina, esaminandone la forma e la superficie liscia mentre le teniamo in mano.

La somiglianza fra le configurazioni mappate nel cervello e gli oggetti reali che ne inducono la creazione è stata dimostrata in diversi studi. Nella corteccia visiva di una scimmia, per esempio, è possibile svelare una forte correlazione fra la struttura di uno stimolo visivo (per esempio un cerchio o una croce) e la configurazione di attività neurale che esso evoca. A dimostrarlo per primo fu Roger Tootell in campioni di tessuto cerebrale ottenuto da scimmie. In nessuna circostanza, tuttavia, possiamo « osservare » l'esperienza visiva dell'animale, in altre parole le immagini che esso vede. Le immagini – visive, uditive, o di qualsiasi altra varietà si desideri – sono *direttamente* disponibili ma *soltanto* per il proprietario della mente in cui si formano. Esse sono private e non possono essere osservate da una terza parte: a quest'ultima non resta dunque che fare delle ipotesi.

Anche gli studi di neuroimmagine eseguiti sul cervello umano stanno cominciando a svelare tali correlazioni. Usando un'analisi multivariata, diversi gruppi di ricerca – compreso il nostro – sono riusciti a dimostrare che nelle cortecce sensoriali umane alcune configurazioni di attività neurale corrispondono distintamente a una particolare classe di oggetti.[3]

MAPPE E MENTI

La mente è una spettacolare conseguenza dell'attività, incessante e dinamica, che vede il cervello impegnato nella creazione di mappe. Le configurazioni mappate

costituiscono quello che noi, creature dotate di coscienza, conosciamo come esperienze visive, uditive, tattili, olfattive, gustative e anche come dolore, piacere e simili: in breve, immagini. Le immagini presenti nella nostra mente sono le mappe temporanee, create dal cervello, di qualsiasi cosa sia presente all'interno del nostro corpo e fuori di esso, concreta e astratta, reale oppure registrata in precedenza nella memoria. Prima che io le concretizzassi sulla pagina nella loro versione scritta, le parole che sto usando per trasmettere al lettore queste idee si sono inizialmente formate, per quanto in modo breve e schematico, come immagini uditive, visive o somatosensoriali di fonemi e morfemi. Allo stesso modo, le parole scritte, stampate davanti agli occhi del lettore, sono da questi elaborate come immagini *verbali* (immagini visive del linguaggio scritto), prima che la loro azione sul cervello promuova l'evocazione di altre immagini, di tipo *non verbale.* Le immagini di tipo non verbale sono quelle che aiutano a visualizzare mentalmente i concetti corrispondenti alle parole. Sono immagini anche i sentimenti, che costituiscono lo sfondo di ogni istante mentale e in larga misura denotano aspetti dello stato in cui si trova il corpo. La percezione – quale che sia la modalità sensoriale coinvolta – è il risultato delle abilità cartografiche del cervello.

Le immagini rappresentano le proprietà fisiche di entità diverse, insieme alle loro relazioni spaziotemporali e alle loro azioni. Alcune immagini, probabilmente derivanti dal fatto che il cervello costruisce anche mappe di se stesso intento a tracciare mappe, sono effettivamente molto astratte. Esse descrivono configurazioni di oggetti nel tempo e nello spazio, oppure le relazioni spaziali e il movimento di oggetti in termini di velocità e traiettoria, eccetera. Alcune immagini penetrano in composizioni musicali o descrizioni matematiche. Il processo della mente è un flusso continuo di tali immagini, alcune delle quali corrispondono ad attività reali in corso esternamente al cervello, mentre altre sono ricostruite,

recuperandole dalla memoria nel processo del ricordo. La mente è una combinazione elusiva: un flusso continuo di immagini, reali e richiamate dalla memoria, in proporzioni sempre mutevoli. Le immagini della mente tendono a essere legate fra loro in modo logico; lo sono di sicuro quando corrispondono a eventi che hanno luogo nel mondo esterno o nel corpo, i quali sono entrambi – di per se stessi – governati dalle leggi della fisica e della biologia che definiscono ciò che noi consideriamo logico. Naturalmente, quando si sogna a occhi aperti, è possibile produrre continuità illogiche fra un'immagine e l'altra, proprio come quando si hanno le vertigini e quando si assumono allucinogeni: in realtà, anche se le immagini ci dicono altrimenti, la stanza non sta girando, il tavolo non ci sta venendo incontro. Se si escludono queste situazioni molto particolari, nella maggior parte dei casi il flusso delle immagini procede in avanti nel tempo, velocemente o lentamente, in modo ordinato o a balzi, e a volte sviluppandosi non soltanto in una, ma in più sequenze. A volte queste ultime sono simultanee e scorrono in parallelo; in altri casi si intersecano e si sovrappongono. Quando i processi della mente cosciente sono al massimo dell'intensità, la sequenza di immagini è ridotta all'essenziale, e lascia a malapena intravedere gli aspetti marginali circostanti.

Oltre alla logica imposta dal dispiegamento degli eventi nella realtà esterna al cervello – una disposizione logica che i nostri circuiti cerebrali, soggetti a selezione naturale, lasciano presagire fin dai primissimi stadi di sviluppo –, le immagini presenti nella nostra mente hanno, nel flusso mentale, una maggiore o minore rilevanza a seconda del loro valore per l'individuo. Ma da dove proviene quel valore? Dall'insieme originale delle disposizioni che orientano la regolazione dei nostri processi vitali, come pure dalle valutazioni associate a tutte le immagini gradualmente acquisite nella nostra esperienza, a loro volta basate sull'insieme originale di disposizioni riguardanti il valore della nostra storia passata. In altre

parole, la mente non riguarda semplicemente le immagini che entrano in modo naturale nel suo flusso. Riguarda anche le scelte di *editing* – in qualche modo simili al montaggio cinematografico – promosse dal nostro pervasivo sistema del valore biologico. Nella mente non vale la regola secondo cui chi arriva prima è servito per primo. Si tratta piuttosto di scelte che hanno una connotazione di valore e sono inserite, nell'arco del tempo, in un contesto logico.[4]

Infine – e questo è un altro aspetto essenziale – la mente può *essere* o *non essere* dotata di coscienza. Le immagini continuano a formarsi, tanto nella percezione quanto nella rievocazione, anche quando noi non ne siamo coscienti. Molte immagini non si guadagnano mai l'attenzione della coscienza e non sono mai udite o viste in modo diretto dalla mente cosciente. In molti casi, tuttavia, esse sono comunque in grado di influenzare il nostro pensiero e le nostre azioni. È possibile che un processo mentale ricco, legato al ragionamento e al pensiero creativo, continui a svilupparsi perfino mentre la coscienza si occupa di qualcos'altro. Tornerò sulle questioni legate alla mente non cosciente nella quarta parte.

In conclusione, le immagini sono basate su cambiamenti che hanno luogo nel corpo e nel cervello durante l'interazione fisica con un oggetto. I segnali inviati dai sensori distribuiti nel corpo creano configurazioni neurali che mappano l'*interazione* dell'organismo con l'oggetto. Le configurazioni neurali si formano in modo transitorio nelle diverse regioni sensoriali e motorie del cervello che normalmente ricevono segnali da specifiche regioni del corpo. L'assemblaggio di queste configurazioni neurali transitorie viene effettuato da un insieme di circuiti neuronali selezionati, reclutati attraverso la stessa interazione. Possiamo immaginare quei circuiti neuronali come unità costruttive preesistenti all'interno del cervello.

La formazione di mappe cerebrali è un aspetto funzionale distintivo di un sistema dedicato alla gestione e

al controllo dei processi vitali. La capacità del cervello di tracciare mappe serve alle sue finalità gestionali. A un livello semplice, la mappatura può rilevare la presenza di un oggetto nello spazio oppure fornire la sua posizione o la direzione della sua traiettoria. Questo può rivelarsi utile per monitorare, allo stesso modo, l'emergere di un pericolo o di un'opportunità: per evitare uno, come per cogliere l'altra. E nel momento in cui la nostra mente si serve di numerose mappe per ogni modalità sensoriale creando una prospettiva sfaccettata dell'universo esterno al cervello, ecco che possiamo rispondere con maggior precisione agli oggetti e agli eventi che hanno luogo in quell'universo. Inoltre, una volta che le mappe vengono consegnate alla memoria, dalla quale possono poi essere recuperate sotto forma di immagini rievocate, ecco che diventa possibile pianificare il futuro e inventare risposte più efficaci.

LA NEUROLOGIA DELLA MENTE

È ragionevole chiedersi quali parti del cervello abbiano a che fare con la mente e quali no? La domanda è insidiosa ma legittima. Un secolo e mezzo di ricerca sulle conseguenze delle lesioni cerebrali ci ha fornito le informazioni necessarie per abbozzare una risposta preliminare. Nonostante diano un contributo rilevante a importanti funzioni del cervello, alcune regioni cerebrali non sono implicate nei fondamentali processi di creazione della mente; altre regioni vi sono decisamente implicate a un livello basilare indispensabile; altre ancora, infine, coadiuvano la creazione della mente, eseguendo compiti che implicano la generazione e la rigenerazione di immagini, come pure la gestione del loro flusso (per esempio l'*editing* delle immagini e la creazione di continuità).

Tutto il midollo spinale – questo è evidente – non è essenziale per i fondamentali processi di creazione della

mente. La perdita completa del midollo spinale dà luogo a gravissimi deficit motori, a una perdita profonda della sensazione corporea e a una certa attenuazione dell'emozione e del sentimento. Tuttavia, fintanto che il nervo vago, che corre parallelamente al midollo, è risparmiato (e in questi casi lo è quasi sempre) la segnalazione incrociata fra corpo e cervello rimane abbastanza robusta per assicurare il controllo autonomo, per gestire le emozioni e i sentimenti fondamentali e per conservare gli aspetti della coscienza che necessitano degli input provenienti dal corpo. Di sicuro i processi di creazione della mente non sono cancellati da un danno al midollo spinale: ce lo hanno dimostrato benissimo i tristi casi di persone che hanno riportato lesioni midollari a causa di incidenti, a prescindere dal livello al quale è localizzato il danno. La bella mente di Christopher Reeve sopravvisse all'estesa lesione midollare in cui egli era incorso, e allo stesso modo fu risparmiata la sua coscienza. Ebbi modo di incontrarlo di persona e ricordo che esteriormente vi era una leggera compromissione, circoscritta al controllo fine delle espressioni emozionali. Ho il sospetto che le rappresentazioni mentali degli stimoli somatosensoriali provenienti dagli arti e dal tronco siano assemblate completamente, insieme ai segnali provenienti sia dal midollo spinale sia dal nervo vago, solo a livello dei nuclei del tronco encefalico superiore; il midollo rimane quindi in una posizione periferica rispetto ai processi fondamentali di creazione della mente. (Un altro modo di collocare il midollo spinale rispetto a tali processi consiste nell'affermare che – sebbene, quando sono presenti, i suoi contributi siano apprezzabili – la funzione globale non risente della loro assenza. In seguito a un'interruzione del midollo spinale, i pazienti, che pure non sentono dolore, mostrano tuttavia riflessi «legati al dolore»: la mappatura della lesione tissutale, infatti, non viene più inviata al tronco encefalico e alla corteccia cerebrale, ma è ancora eseguita a livello midollare).

La stessa esenzione si applica – di sicuro nel caso degli adulti – anche al cervelletto. Quest'organo ha un ruolo importante nel coordinare il movimento e nel modulare le emozioni; è inoltre implicato nell'apprendimento e nel ricordo di abilità, come pure negli aspetti cognitivi del loro sviluppo. Tuttavia, da quanto è dato di capire, i processi fondamentali di creazione della mente non sono affar suo. Possiamo dire lo stesso dell'ippocampo – una struttura essenziale per l'apprendimento di nuovi dati e regolarmente impegnata nel normale processo del recupero dei ricordi –, la cui assenza non compromette i fondamentali processi di creazione della mente. Sia il cervelletto, sia l'ippocampo coadiuvano i processi di *editing* e di continuità legati a immagini e movimento, insieme a diverse regioni corticali dedicate al controllo motorio, le quali sono probabilmente anch'esse importanti per la composizione della continuità nel processo della mente. Questo è naturalmente essenziale per il funzionamento generale della mente, ma non è necessario per la costruzione delle immagini a un livello elementare. Le evidenze negative riguardanti le capacità di creazione della mente da parte dell'ippocampo e delle cortecce adiacenti sono molto convincenti. Esse sono legate ai comportamenti e alle descrizioni introspettive di pazienti il cui ippocampo e la cui corteccia temporale anteriore siano stati distrutti su entrambi i lati in seguito ad anossia, encefalite da *herpes simplex* o ablazione chirurgica. Nei soggetti con queste lesioni, l'apprendimento di fatti nuovi è largamente precluso, come lo è anche, in misura maggiore o minore, la possibilità di ricordare il passato. La mente di questi pazienti, d'altra parte, conserva un'immensa ricchezza; essi hanno una percezione pressoché normale nei domini visivo, uditivo e tattile, e mantengono una notevole capacità di ricordare conoscenze a livello generale (non particolare). I fondamentali aspetti della loro coscienza sono in larga misura intatti.

Quando passiamo a considerare la corteccia cerebra-

le, lo scenario è radicalmente diverso: numerose regioni corticali sono inequivocabilmente coinvolte nella formazione delle immagini poi contemplate e manipolate nella mente. Quanto alle cortecce che non creano immagini, esse mostrano comunque la tendenza al coinvolgimento nella loro registrazione o manipolazione, durante i processi di ragionamento, decisione e azione. Di sicuro creano immagini le cortecce sensoriali di ordine inferiore interessate alla visione, all'udito, alla sensazione somatica, al gusto e all'olfatto; queste isole nell'oceano della corteccia cerebrale sono coadiuvate nel loro compito da nuclei talamici di due tipi: i nuclei di relè (che portano input dalla periferia) e i nuclei associativi (che hanno connessioni a doppio senso con estesi settori della corteccia cerebrale).

A sostegno di questa asserzione, vi sono prove solide. Noi sappiamo che un danno significativo in una qualsiasi isola della corteccia sensoriale compromette estesamente la capacità di quel particolare settore di creare mappe. Chi subisce danni bilaterali alle cortecce visive di ordine inferiore, per esempio, diventa «cieco corticale». I pazienti così colpiti non sono più in grado di formare immagini visive dettagliate non solo a livello percettivo, ma spesso anche mnemonico. Può rimanere loro una cosiddetta visione cieca residua, grazie alla quale stimoli che non raggiungono la coscienza permettono comunque, in una certa misura, una guida visiva dell'azione. Una situazione simile si applica a scenari in cui il danno significativo riguarda altre cortecce sensoriali. Sebbene non primariamente coinvolto nella creazione di immagini, il resto della corteccia cerebrale – l'oceano intorno alle isole – partecipa alla loro costruzione ed elaborazione: in altre parole, alla registrazione, al richiamo e alla manipolazione delle immagini generate nelle cortecce sensoriali di ordine inferiore (tutti processi discussi nel capitolo 6).[5]

Contrariamente alla tradizione e alle convenzioni, però, io sono convinto che la mente non sia generata sol-

TIPI DI MAPPE (IMMAGINI)	OGGETTI
I. Mappe enterocettive (struttura e stato interni dell'organismo)	Condizione funzionale dei tessuti corporei (per esempio, grado di contrazione/rilassamento della muscolatura liscia); parametri riguardanti lo stato del *milieu* interno.
II. Mappe propriocettive (altri aspetti dell'organismo)	Immagini di componenti specifiche del corpo (per esempio: articolazioni, muscolatura striata, alcuni visceri).
III. Mappe esterocettive (mondo esterno all'organismo)	Qualsiasi oggetto o evento che impegni una sonda sensoriale come la retina, la coclea o i meccanorecettori presenti nella cute.

Tabella 3.1 Diversi tipi di mappe (immagini) e i rispettivi oggetti. Quando sono esperite, le mappe diventano immagini. Una mente normale contiene immagini di tutte e tre le varietà descritte qui sopra. Le immagini dello stato interno di un organismo costituiscono i *sentimenti primordiali.* Le immagini di altri aspetti dell'organismo combinate con quelle dello stato interno costituiscono specifici *sentimenti corporei.* I sentimenti delle emozioni sono variazioni di sentimenti corporei complessi, causate da un oggetto specifico e riferite a esso. Le immagini del mondo esterno sono normalmente *accompagnate da* immagini del I e II tipo.

I sentimenti sono una varietà di immagine, resa speciale dalla loro particolare relazione con il corpo (si veda cap. 4). I sentimenti sono immagini spontaneamente *sentite.* Tutte le altre immagini sono sentite perché accompagnate dalle particolari immagini che chiamiamo sentimenti.

tanto a livello della corteccia cerebrale, ma che le sue prime manifestazioni affiorino nel tronco encefalico. L'idea che l'elaborazione della mente inizi a questo livello è così poco convenzionale da non riuscire nemmeno a essere impopolare; fra chi l'ha difesa con grande passione, voglio citare Jaak Panksepp. Questa idea è tutt'uno con quella secondo cui nel tronco encefalico affiorerebbero anche i primi sentimenti.[6] Due nuclei di questa regione – il nucleo del tratto solitario e il nucleo parabrachiale – sono coinvolti nella produzione di alcuni aspetti basilari della mente, in particolare i sentimenti generati dagli eventi quotidiani, compresi quelli descritti come dolore e piacere. Io visualizzo le mappe create da queste strutture come rappresentazioni semplici e in larga misura prive di dettaglio spaziale che tuttavia danno luogo ai sentimenti. Questi ultimi sono, con ogni probabilità, i costituenti primordiali della mente, basati su afferenze provenienti direttamente dal corpo. È interessante osservare che essi sono anche componenti primordiali e indispensabili del sé e che costituiscono, per la mente, la primissima rivelazione del fatto che il *suo* organismo è vivo.

Questi importanti nuclei del tronco encefalico non producono semplici mappe virtuali del corpo; piuttosto producono stati corporei *sentiti*. E se il dolore e il piacere sono *sentiti* nel modo che è loro proprio, le strutture che dobbiamo ringraziare per prime sono sia questi nuclei del tronco encefalico, sia le strutture motorie localizzate nei nuclei del grigio periacqueduttale, attraverso le quali essi dialogano incessantemente con il corpo.

GLI ESORDI DELLA MENTE

Per illustrare quello che intendo dire quando parlo degli esordi della mente, devo discutere, sia pure in breve, tre fonti di prova. Una è offerta dai pazienti le cui cor-

tecce insulari hanno subìto lesioni; un'altra dai bambini nati senza corteccia cerebrale; la terza, infine, ha a che fare con le funzioni del tronco encefalico in generale e con quelle dei collicoli superiori (CS) in particolare.

Dolore e piacere dopo la distruzione delle cortecce insulari

Nel capitolo dedicato alle emozioni (cap. 5) vedremo che le cortecce insulari sono inequivocabilmente implicate nell'elaborazione di un'ampia gamma di sentimenti, da quelli che seguono l'emozione a quelli che indicano piacere o dolore, noti come sentimenti corporei. Purtroppo, le prove solide che stabiliscono una relazione fra i sentimenti e l'insula sono state interpretate come altrettante indicazioni dell'opportunità di cercare il substrato di tutti i sentimenti esclusivamente a livello corticale; le cortecce insulari si pongono pertanto come il grossolano equivalente delle cortecce visive e uditive di ordine inferiore. D'altra parte, proprio come la distruzione di queste ultime non abolisce la visione e l'udito, la completa distruzione delle cortecce insulari – in senso anteroposteriore e in entrambi gli emisferi, destro e sinistro – non dà luogo a una completa abolizione del sentimento. Al contrario, i sentimenti di dolore e piacere permangono anche in seguito alle lesioni causate dall'encefalite erpetica che interessano *entrambe* le cortecce insulari. Insieme ai miei colleghi Hanna Damasio e Daniel Tranel, ho ripetutamente osservato che i pazienti così colpiti rispondono con piacere o dolore a una varietà di stimoli, continuano a provare emozioni e le descrivono in modo inequivocabile. Essi riferiscono disagio in presenza di temperature estreme; sono infastiditi dai compiti noiosi e si irritano quando vedono respingere le proprie richieste. La reattività sociale dipendente dalla presenza di sentimenti emozionali non è compromessa. L'attaccamento è conservato perfino nei confronti di persone che non possono essere riconosciute come amate o amiche perché, a causa della sindrome erpeti-

ca, il danno concomitante al settore anteriore dei lobi temporali compromette gravemente la memoria autobiografica. La manipolazione sperimentale degli stimoli, inoltre, dà luogo a modificazioni dimostrabili dell'esperienza dei sentimenti.[7]

È ragionevole ipotizzare che in assenza di entrambe le cortecce insulari i sentimenti di dolore e piacere affiorino in due nuclei del tronco encefalico già menzionati, il nucleo del tratto solitario e il nucleo parabrachiale, entrambi adatti a ricevere segnali dall'interno del corpo. Negli individui normali essi inviano i loro segnali alla corteccia insulare attraverso i nuclei dedicati del talamo (cap. 4). In breve, mentre i nuclei del tronco encefalico assicurerebbero sentimenti a un livello elementare, le cortecce insulari ne fornirebbero una versione più differenziata e, cosa più importante, sarebbero in grado di metterli in relazione con altri aspetti della cognizione basati su attività cerebrali che si svolgono altrove.[8]

Le prove indirette a favore di questa idea sono stringenti. Il nucleo del tratto solitario e il nucleo parabrachiale ricevono un insieme di segnali che descrivono lo stato del *milieu* interno di tutto il corpo. Nulla sfugge loro: vi sono segnali provenienti dal midollo spinale e dal nucleo del trigemino; e vi sono anche segnali provenienti da regioni «nude» del cervello che – come la vicina area postrema (AP) – sono prive della barriera ematoencefalica protettiva e rispondono direttamente alle molecole presenti nel circolo sanguigno. Tutti questi segnali compongono un quadro generale del *milieu* interno e dei visceri, e quel quadro è la componente primaria dei nostri stati del sentire. Questi nuclei presentano abbondanti connessioni sia fra di loro, sia con il grigio periacqueduttale (GPA), localizzato nelle vicinanze. Il GPA è un complesso insieme di nuclei, con subunità multiple, ed è il sito di origine di un'ampia gamma di risposte emozionali legate alla difesa, all'aggressività e alla gestio-

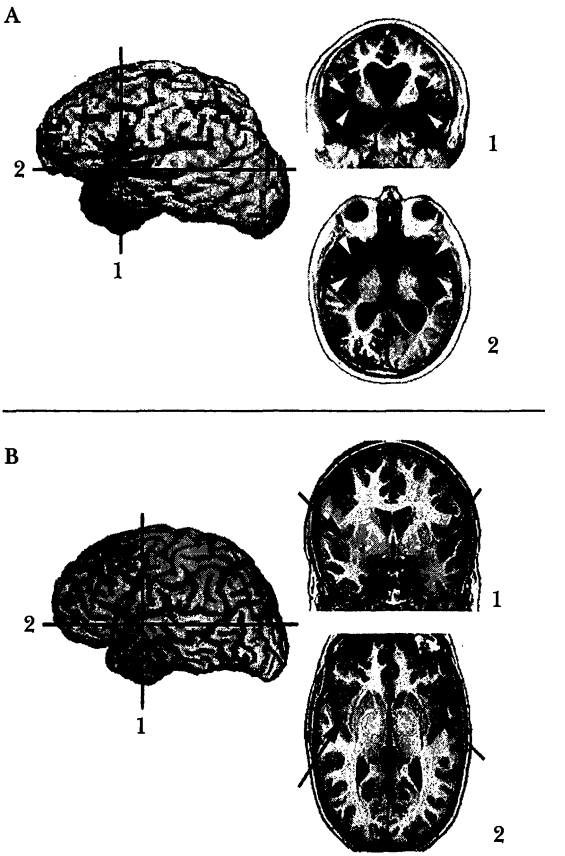


Figura 3.1 La tavola A mostra i risultati della risonanza magnetica effettuata su un paziente con una compromissione completa della corteccia insulare in entrambi gli emisferi, destro e sinistro. A sinistra è mostrata una ricostruzione tridimensionale del cervello del paziente. Sulla destra sono riportate due sezioni del cervello (1 e 2) condotte secondo un piano di taglio verticale e orizzontale (rispettivamente linea 1 e linea 2, nel disegno a sinistra). L'area che nelle sezioni appare in nero corrisponde al tessuto cerebrale distrutto dalla malattia. Le frecce bianche indicano la posizione in cui dovrebbe trovarsi, su ciascun lato, l'insula. La tavola B mostra, a sinistra, un cervello normale in tre dimensioni, e a destra due sezioni condotte allo stesso livello di quelle mostrate in A. Le frecce nere indicano la normale corteccia dell'insula.

ne del dolore. Il riso e il pianto, le espressioni di disgusto e di paura, come pure le risposte di immobilizzazione o di fuga nelle situazioni di paura sono tutte reazioni innescate dal GPA. Le connessioni in entrata e in uscita da questi nuclei sono adattissime a produrre rappresentazioni complesse. I loro schemi di connessione fondamentali qualificano queste regioni come idonee alla creazione di immagini; quanto al tipo di immagini generate, si tratta di sentimenti: i primi passi nella costruzione della mente, essenziali per la conservazione della vita. Da un punto di vista ingegneristico (intendo dire dal punto di vista evolutivo), è dunque senz'altro logico che i loro meccanismi fondamentali siano basati su strutture collocate nelle immediate vicinanze di quelle deputate alla regolazione dei processi vitali.[9]

La strana situazione dei bambini nati senza corteccia cerebrale

Per ragioni diverse, alcuni bambini possono nascere con le strutture del tronco encefalico intatte ma in larga misura privi di quelle telencefaliche, e precisamente privi di corteccia cerebrale, talamo e gangli basali. Questa sfortunata condizione è comunemente dovuta a un grave ictus verificatosi *in utero*, in conseguenza del quale tutta la corteccia cerebrale, o gran parte di essa, è stata danneggiata o riassorbita, e viene sostituita con fluido cerebrospinale. Questa situazione è nota come idroanencefalia, per distinguerla dai difetti dello sviluppo – generalmente noti come anencefalia – nei quali, oltre alla corteccia cerebrale, risultano compromesse anche altre stutture.[10] I bambini così colpiti possono sopravvivere per molti anni, anche oltre l'adolescenza; sono spesso etichettati come «vegetativi» e di solito vengono ricoverati in istituzioni apposite.

Questi soggetti, d'altra parte, sono tutt'altro che «vegetativi». Al contrario: sono svegli, ed esibiscono un comportamento. In una misura limitata ma assoluta-

mente non trascurabile, sono in grado di interagire con il mondo e di comunicare con chi si prende cura di loro. È chiaro che sono dotati di *mente*, in un modo ben diverso dai pazienti in stato vegetativo o con mutismo acinetico. La loro disgraziata condizione ci offre una finestra preziosa per contemplare il tipo di mente che può essere generata in assenza di corteccia cerebrale.

Come sono questi bambini sfortunati? Possono compiere movimenti molto limitati a causa della scarsa tonicità della muscolatura del rachide e della spasticità degli arti. Riescono però a muovere liberamente la testa e gli occhi, presentano espressioni facciali che rivelano emozioni, e possono sorridere in risposta a stimoli – come un giocattolo o un suono particolare – verso i quali ci aspetteremmo di veder sorridere anche un bambino normale; possono inoltre ridere ed esprimere una normale allegria quando si fa loro il solletiço. Fanno il broncio e si allontanano dagli stimoli dolorosi. Riescono a muoversi in direzione di un oggetto o di una situazione che desiderano: per esempio strisciano verso una zona del pavimento inondata dalla luce del sole e dove possono scaldarsi traendo un evidente beneficio dal tepore. I bambini *hanno un'aria* soddisfatta e manifestano esternamente il tipo di sentimenti che ci aspetteremmo in seguito a una risposta emozionale appropriata allo stimolo.

Questi bambini sono capaci di orientare la testa e gli occhi, anche se in modo imprevedibile, verso la persona che si rivolge a loro o che li tocca; rivelano inoltre di avere preferenze per persone distinte. Tendenzialmente, temono gli estranei e sembrano felici soprattutto quando sono vicini alla madre o a chi si prende abituale cura di loro. Simpatie e antipatie sono palesi, nessuna lampante come quella per la musica. Questi bambini amano alcuni brani musicali più di altri; possono rispondere al suono di strumenti diversi e a diverse voci umane. Riescono anche a rispondere a tempi e stili compositivi differenti. La loro faccia riflette bene lo stato emozionale. In breve, sono allegri soprattutto quando vengono toccati o si fa

loro il solletico, quando si fa loro ascoltare la musica che preferiscono, e quando si mettono davanti ai loro occhi certi giocattoli. È chiaro che riescono a udire e vedere, anche se non abbiamo alcun modo di sapere in quale misura riescano a farlo; le loro facoltà uditive sembrano superiori a quelle visive.

Quali che siano, l'udito e la vista di questi bambini sono necessariamente un prodotto dell'attività subcorticale: con ogni probabilità dei collicoli, che sono integri. Anche i loro sentimenti, quali che siano, vengono ottenuti a livello subcorticale grazie all'attività del nucleo del tratto solitario e del nucleo parabrachiale, entrambi intatti; questi bambini infatti non hanno cortecce insulari o somatosensoriali I e II che possano essere d'aiuto in tale compito. Le emozioni che essi producono devono essere innescate dai nuclei del grigio periacqueduttale ed eseguite dai nuclei dei nervi cranici che controllano le espressioni facciali delle emozioni (anch'essi intatti). La gestione dei processi vitali è sostenuta da un ipotalamo intatto, localizzato subito sopra il tronco encefalico e coadiuvato da un sistema endocrino pure intatto e dal sistema del nervo vago. In età puberale, le bambine idroanencefaliche cominciano ad avere il ciclo mestruale.

Che questi soggetti offrano una qualche evidenza di processi mentali è fuori di dubbio. Allo stesso modo, le loro espressioni di gioia – mantenute per molti secondi e anche per minuti e consone allo stimolo che le causa – possono essere ragionevolmente associate a stati del sentire. È inevitabile per me assumere che il *grande piacere* che essi mostrano sia davvero un piacere *sentito*, anche se non possono esprimerlo verbalmente. Stando così le cose, essi si troverebbero al livello più basso di un meccanismo che porta per gradi alla coscienza: precisamente, il livello in corrispondenza del quale i sentimenti sono connessi a una rappresentazione integrata dell'organismo (un proto-sé), forse modificata dalla concentrazio-

ne su un oggetto, la quale costituisce un'esperienza elementare.

La possibilità che essi abbiano davvero una mente cosciente, per quanto molto modesta, è sostenuta da un interessante riscontro: le persone che assistono questi bambini rilevano facilmente l'insorgere di una crisi di assenza; sono anche in grado di capire quando la crisi si esaurisce, riferendo che «il bambino è tornato in sé». Le crisi sembrano dunque sospendere il sia pur minimo livello di coscienza normalmente presente in questi soggetti.

Gli individui idroanencefalici presentano un quadro molto inquietante, che ci fornisce informazioni sui limiti delle strutture del tronco encefalico e della corteccia cerebrale negli esseri umani. Questa condizione smentisce chi sostiene che la capacità di sentire, i sentimenti e le emozioni si originerebbero esclusivamente nella corteccia cerebrale. Non può essere così: in questi casi, naturalmente, l'entità del sentire, del sentimento e dell'emozione possibile è limitatissima, e – cosa molto importante – non è collegata all'orizzonte più ampio della mente che solo la corteccia cerebrale, in effetti, può fornire. Avendo trascorso buona parte della mia vita a studiare gli effetti dei danni cerebrali sulla mente e il comportamento degli esseri umani, però, posso affermare che questi bambini hanno ben poco in comune con i pazienti in stato vegetativo, nei quali l'interazione con il mondo è ancora più ridotta: una condizione che può essere causata da danni localizzati proprio nelle regioni che sono *intatte* negli individui idroanencefalici. Ammesso che si possa tracciare un parallelo, escludendo i deficit motori, i bambini idroanencefalici potrebbero essere accostati ai neonati, nei quali – sebbene il sé nucleare stia a malapena cominciando ad affiorare – l'esistenza della mente è chiara. Questo è in linea con il fatto che l'idroanencefalia può essere diagnosticata a distanza di mesi dalla nascita, quando i genitori notano uno sviluppo insufficiente e le scansioni cerebrali rivelano una catastrofica assenza di corteccia. La ragione alla

base di questa vaga somiglianza non è troppo difficile da immaginare: nei neonati normali la corteccia cerebrale deve ancora svilupparsi e completare il processo di mielinizzazione; i bambini appena nati hanno un tronco encefalico funzionale, ma una corteccia cerebrale che lo è solo in parte.

Una nota sul collicolo superiore

I collicoli superiori sono parte del tetto, una regione che ha stretti rapporti con i nuclei del grigio periacqueduttale e, indirettamente, con il nucleo del tratto solitario e il nucleo parabrachiale. Il coinvolgimento del collicolo superiore nel comportamento associato alla vista è ben noto. Il possibile ruolo di queste strutture nel processo della mente e del sé viene tuttavia preso in considerazione solo di rado, sebbene si possano trovare notevoli eccezioni nel lavoro di Bernard Strehler, Jaak Panksepp e Bjorn Merker.[11] L'anatomia del collicolo superiore è affascinante, al punto da imporci di formulare qualche ipotesi sulle sue funzioni. Questa struttura presenta sette strati; gli strati dal I al III sono detti «superficiali», mentre quelli dal IV al VII sono denominati «profondi». Tutte le connessioni degli strati superficiali, in entrata e in uscita, hanno a che fare con la visione, e lo strato II – il più importante strato superficiale – riceve segnali dalla retina e dalla corteccia visiva primaria. Questi strati superficiali costruiscono una mappa retinotopica del campo visivo controlaterale.[12]

Gli strati profondi del collicolo superiore contengono, insieme a una mappa del mondo visivo, mappe topografiche dell'informazione uditiva e somatica, quest'ultima proveniente dal midollo spinale e dall'ipotalamo. Dal punto di vista spaziale, i tre tipi di mappe – visive, uditive e somatiche – sono «in registro»: in altre parole, sono sovrapposte in modo così preciso che l'informazione disponibile in una mappa, riguardante per esempio la visione, corrisponde all'informazione contenuta in

un'altra mappa, che ha a che fare con l'udito o con lo stato del corpo.[13] Nel cervello non vi è alcun altro luogo in cui l'informazione visiva, uditiva e somatica (riguardante molteplici stati del corpo) sia sovrapposta in modo altrettanto letterale, tale da offrire una prospettiva integrata così efficace. L'integrazione è resa ancor più significativa dal fatto che i suoi risultati hanno accesso al sistema motorio (attraverso le vicine strutture del grigio periacqueduttale e attraverso la corteccia cerebrale).

L'altro giorno, una graziosa lucertolina sfrecciava sul mio terrazzo nel tentativo di catturare una stupida mosca che insisteva a ronzarle intorno volando pericolosamente bassa. La lucertola seguiva la mosca con gran precisione e alla fine l'ha catturata estraendo la lingua al momento giusto. Nei suoi collicoli, i neuroni avevano tracciato la posizione della preda istante per istante, guidando i muscoli di conseguenza, e inducendo infine l'estroflessione della lingua quando la mosca si era trovata a portata di tiro. La perfezione adattativa di questo comportamento visuomotorio rispetto all'ambiente in cui viene eseguito lascia sbalorditi. Immaginiamo ora, nel collicolo superiore della lucertola, la scarica rapida e sequenziale dei neuroni: ancora una volta c'è da rimanere sbalorditi, e vale la pena di fermarsi un secondo a riflettere. Che cosa ha *visto* la lucertola? Non lo so per certo, ma suppongo che abbia percepito un punto nero in movimento, una macchia che si spostava zigzagando in un campo visivo altrimenti vago. Che cosa *sapeva* la lucertola a proposito dell'evento in corso? Ho il sospetto che – nella nostra accezione del termine – non ne sapesse proprio nulla. E che cosa sentiva mentre stava consumando il suo pranzo conquistato al prezzo di tanta fatica? Suppongo che il tronco encefalico dell'animale abbia registrato il successo del suo comportamento finalizzato, insieme ai risultati di un miglioramento dell'omeostasi. Probabilmente, nella lucertola, i substrati dei sentimenti erano presenti, sebbene essa non potesse riflet-

tere sulla straordinaria abilità di cui aveva appena dato prova. Non sempre è facile essere verdi.

Questa impressionante integrazione di segnali serve a uno scopo ovvio e immediato, e cioè la raccolta di informazioni necessarie a guidare un'azione efficace, sia essa il movimento degli occhi, degli arti o della lingua. Tutto questo viene realizzato grazie alle ricche connessioni che proiettano dai collicoli a tutte le regioni necessarie per guidare efficacemente il movimento: al tronco encefalico e al midollo spinale, come al talamo e alla corteccia cerebrale. D'altra parte è possibile che – oltre a ottenere una guida efficace del movimento – questa utile organizzazione abbia anche delle conseguenze mentali «interne». Con ogni probabilità, anche le mappe integrate e bene allineate del collicolo superiore generano immagini: mai ricche come quelle costruite nella corteccia cerebrale, ma pur sempre immagini. È probabile che, in parte, l'esordio della mente sia da ricercarsi qui, e sempre qui potrebbe trovarsi anche quello del sé.[14]

Che dire del collicolo superiore negli esseri umani? Nella nostra specie, la distruzione selettiva di questa struttura è un evento raro: a tal punto che la letteratura neurologica registra un unico caso di lesione bilaterale, fortunatamente studiato da un grande neurologo e neuroscienziato, Derek Denny-Brown.[15] La lesione era derivata da un trauma al quale il paziente sopravvisse per mesi, in uno stato di coscienza gravemente compromesso che ricordava molto un caso di mutismo acinetico. Questo quadro indica una compromissione dell'attività mentale; devo tuttavia aggiungere che quando mi capitò di incontrare un paziente con lesione collicolare, potei rilevare solo un breve disturbo della coscienza.

Una volta che le cortecce siano andate perdute, vedere servendosi esclusivamente del collicolo equivale probabilmente a rilevare che un qualche oggetto X non

specificato si sta muovendo – per esempio allontanandosi o avvicinandosi – in uno dei quadranti del campo visivo. In nessuno dei due casi potrei servirmi della mente per descrivere che cosa sia l'oggetto in questione, e potrei non essere nemmeno cosciente di esso: qui stiamo parlando di una mente molto vaga, che raccoglie informazioni appena abbozzate sul mondo circostante; il fatto che le immagini siano vaghe e incomplete, d'altra parte, non ne riduce o annulla l'utilità, come ben dimostra il fenomeno della visione cieca. Quando però le cortecce visive sono assenti fin dalla nascita, come nei casi di idroanencefalia descritti prima, il contributo del collicolo superiore e di quello inferiore al processo della mente può essere più sostanziale.

Devo aggiungere un ultimo fatto alle varie evidenze a favore della promozione dei collicoli superiori allo status di strutture implicate nel processo della mente. Essi producono oscillazioni elettriche nell'intervallo delle frequenze gamma, un fenomeno che è stato messo in relazione con l'attivazione sincrona dei neuroni e che è stato proposto dal neurofisiologo Wolf Singer come correlato della percezione coerente, se non addirittura della coscienza. Finora, se si esclude la corteccia cerebrale, il collicolo superiore è l'unica regione cerebrale nella quale siano note oscillazioni nell'intervallo delle frequenze gamma.[16]

CI SIAMO AVVICINATI ALLA CREAZIONE DELLA MENTE?

Il quadro che emerge da quanto abbiamo appena visto indica che la creazione della mente è un'attività altamente selettiva: non tutto il sistema nervoso centrale è uniformemente coinvolto nel processo. Alcune regioni non vi sono implicate; altre lo sono, ma non hanno un ruolo da protagoniste; altre ancora svolgono gran parte

del lavoro. Fra queste ultime, alcune forniscono immagini dettagliate; altre, un tipo di immagine semplice ma fondamentale, come i sentimenti corporei. Tutte le regioni implicate nella creazione della mente presentano configurazioni di connettività reciproca altamente differenziate, indicative di un'integrazione molto complessa dei segnali.

La contrapposizione fra regioni che contribuiscono o meno alla formazione della mente non dice nulla sul genere di segnali che i neuroni debbano produrre; non specifica le frequenze o le intensità di scarica neuronale, né le modalità di interazione fra gruppi di neuroni. Ci dice invece qualcosa circa alcuni aspetti dello schema di connessione necessario affinché i neuroni siano coinvolti nei processi di formazione della mente. I siti corticali coinvolti, per esempio, sono gruppi di regioni interconnesse che si organizzano intorno all'ingresso degli input provenienti dalle sonde sensoriali periferiche. I siti coinvolti a livello subcorticale, in questo caso nuclei, sono anch'essi gruppi di regioni intensamente interconnesse, e sono anch'essi organizzati intorno ad afferenze che però originano in un'altra «periferia», più precisamente il corpo.

Un ulteriore requisito, che si applica allo stesso modo alla corteccia cerebrale e ai nuclei subcorticali, è il seguente: fra le regioni che formano la mente deve esistere una intensa interconnessione, così che vi sia una ricorsività diffusa e si ottenga uno scambio di segnali incrociati di grande complessità – un aspetto che, nel caso della corteccia, è amplificato dalle interconnessioni corticotalamiche. (I termini «rientrante» e «ricorsivo» si riferiscono a segnali che, invece di limitarsi a procedere lungo una catena, ritornano anche al sito di origine, ovvero all'insieme di neuroni dove ciascun elemento della catena ha inizio). Le regioni corticali coinvolte nella formazione della mente ricevono anche numerosi input da diversi nuclei localizzati a livelli inferiori, alcuni nel tronco encefalico e altri nel talamo; questi modulano

l'attività corticale per mezzo di neuromodulatori (come le catecolamine) e neurotrasmettitori (come il glutammato).

Infine, è necessaria pure una certa sincronizzazione dei segnali, in modo che tutti gli elementi di uno stimolo simultaneamente afferenti dalla sonda sensoriale periferica possano rimanere uniti anche durante l'elaborazione a livello cerebrale. Affinché emergano gli stati mentali, piccoli circuiti neuronali devono comportarsi in un modo molto particolare. In quelli la cui attività segnala la presenza di un certo aspetto, per esempio, i neuroni aumentano la frequenza di scarica. Insiemi di neuroni che cooperano per indicare una qualche combinazione di caratteristiche devono *sincronizzare* la propria frequenza di scarica. Questo fu dimostrato per la prima volta nelle scimmie da Wolf Singer e dai suoi colleghi (e anche da R. Eckhorn), i quali scoprirono che regioni separate della corteccia visiva, implicate nell'elaborazione dello stesso oggetto, presentavano un'attività sincronizzata intorno a 40 Hz.[17] Probabilmente la sincronizzazione viene ottenuta mediante oscillazioni dell'attività neuronale. Quando il cervello sta formando immagini percettive, i neuroni delle regioni separate che contribuiscono al percetto esibiscono oscillazioni sincronizzate nell'intervallo delle alte frequenze gamma. Questo potrebbe essere parte del segreto alla base del «legame» fra regioni separate, ottenuto grazie agli aspetti temporali dell'attività neuronale; invocherò questo tipo di meccanismo per spiegare il funzionamento delle zone di convergenza-divergenza (cap. 6) e la costruzione del sé (capp. 8, 9 e 10).[18] In altre parole, oltre a costruire mappe dettagliate in corrispondenza di numerosi siti separati, il cervello deve poi metterle *in reciproca relazione*, formando insiemi coerenti. La chiave di questa relazione potrebbe benissimo essere la sincronizzazione.

Riassumendo, il concetto di mappa come entità discreta è soltanto un'utile astrazione, la quale nasconde

il numero elevatissimo di interconnessioni neuronali che è implicato in ogni singola regione e sta alla base di un'enorme complessità di segnalazione. Quelli che noi sperimentiamo come stati mentali corrispondono non solo all'attività in un'area cerebrale separata e distinta, ma anche al risultato dell'intenso scambio di segnali ricorsivi che coinvolge numerose regioni. Nondimeno – come sosterrò nel capitolo 6 –, gli aspetti espliciti di alcuni contenuti mentali (una faccia specifica, una certa voce) sono probabilmente *assemblati* all'interno di un particolare insieme di regioni cerebrali la cui struttura si presta al compito di costruire le mappe, anche se con l'ausilio e il contributo di altre regioni. Detto diversamente, dietro alla costruzione della mente vi è una certa specificità anatomica: una qualche differenziazione fine nel vortice della generale complessità neuronale.

Quando ci si dibatte nel tentativo di comprendere la base neurale della mente, è legittimo chiedersi se quanto abbiamo appena detto sia positivo o negativo. Vi sono due modi di rispondere a questa domanda. È possibile sentirsi un po' scoraggiati da questo caos fremente e ronzante, perdendo così la speranza di poter mai riuscire a intuire, a partire dal disordine biologico, un disegno chiaro e senza zone d'ombra. D'altra parte, è anche possibile accogliere la complessità a braccia aperte, comprendendo che quell'apparente disordine è necessario affinché il cervello generi qualcosa di ricco, elegante e adattativo come gli stati mentali. Io scelgo questa seconda opzione. Troverei difficile credere che, di per se stessa, una singola mappa distinta, in un'unica regione corticale, possa mai consentirmi di ascoltare le partite per pianoforte di Bach o contemplare il Canal Grande a Venezia, e meno che mai che possa permettermi di goderne e di scoprirne il significato nell'ordine più ampio delle cose. Per quanto riguarda il cervello, *di meno è di più* solo quando vogliamo comunicare gli aspetti essenziali di un fenomeno. Altrimenti, *di più è sempre meglio.*

4
IL CORPO NELLA MENTE

L'ARGOMENTO DELLA MENTE

Prima che la coscienza fosse considerata il problema centrale della ricerca su mente e cervello, il dibattito intellettuale era stato dominato da una questione strettamente associata, nota come «problema mente-corpo». In una forma o nell'altra, esso ha permeato il pensiero di filosofi e scienziati dai tempi di Cartesio e Spinoza fino a oggi. L'organizzazione funzionale descritta nel capitolo 3 chiarisce la mia posizione su questo problema: la capacità del cervello di tracciare mappe fornisce un elemento essenziale per la sua soluzione. In breve, i cervelli complessi come il nostro creano spontaneamente mappe esplicite, più o meno dettagliate, delle strutture che compongono il corpo. È inevitabile, poi, che il cervello tracci anche una mappa degli stati funzionali che quelle componenti assumono in modo spontaneo. Poiché, come abbiamo visto, le mappe create dal cervello sono il substrato delle immagini mentali, i cervelli in grado di tracciare queste mappe hanno, letteralmente, la capacità di introdurre il corpo nel processo della mente, quale suo *contenuto*. Grazie al cervello, il corpo diventa un argomento naturale della mente.

Questa mappatura dal corpo al cervello, tuttavia, pre-

senta un aspetto che è al tempo stesso peculiare e sistematicamente trascurato: sebbene sia l'oggetto mappato, il corpo non perde mai il contatto con il cervello, l'entità che traccia la mappa. In circostanze normali, essi rimangono agganciati l'un l'altro dalla nascita alla morte. Ugualmente importante è il fatto che le immagini del corpo, rappresentate nelle mappe, siano in grado di esercitare un'influenza costante su quello stesso corpo dal quale originano. Questa è una situazione unica: non ha paralleli nelle immagini mappate di oggetti ed eventi esterni al corpo, le quali non possono mai esercitare alcuna influenza diretta sugli oggetti e gli eventi rappresentati. Sono convinto che qualsiasi teoria della coscienza tralasci questi fatti sia destinata a fallire.

Le ragioni alla base della connessione corpo-cervello sono già state presentate. La gestione dei processi vitali consiste nella gestione di un corpo, gestione che diventa sempre più precisa ed efficiente grazie alla presenza di un cervello: più specificamente, grazie alla presenza di circuiti di neuroni che l'assistono. Ho detto che la funzione dei neuroni *riguarda* la vita e la gestione dei processi vitali in altre cellule dell'organismo, e che ciò richiede una segnalazione a doppio senso. I neuroni agiscono sulle altre cellule dell'organismo attraverso messaggi chimici oppure tramite l'eccitazione dei muscoli; per fare il loro lavoro, però, hanno bisogno per così dire dell'ispirazione proveniente da quel medesimo corpo che devono sollecitare. Nel caso di cervelli semplici, il corpo effettua tali sollecitazioni semplicemente inviando i suoi segnali ai nuclei subcorticali. Questi ultimi contengono il «know-how disposizionale», ovvero un tipo di conoscenza che non richiede rappresentazioni mappate in modo dettagliato. Nei cervelli complessi, invece, le cortecce cerebrali che approntano le mappe descrivono il corpo e le sue azioni con dettagli così espliciti da consentire al proprietario del cervello, per esempio, di «immaginare»

la forma dei propri arti e la loro posizione nello spazio, oppure l'indolenzimento di un gomito o dello stomaco. Portare il corpo alla mente è l'espressione ultima della intrinseca referenzialità del cervello nei confronti del corpo, ovvero, per esprimerci in termini che riconducono alle idee di filosofi come Franz Brentano, del suo atteggiamento *intenzionale* riguardante il corpo.[1] Brentano in realtà considerava l'atteggiamento intenzionale come l'emblema dei fenomeni mentali, convinto com'era che quelli fisici mancassero di atteggiamenti intenzionali e di referenzialità. Pare invece che non sia così: come abbiamo visto nel capitolo 2, anche singole cellule *sembrano* avere intenzioni e referenzialità proprio nello stesso senso. In altre parole, né un cervello intero, né le singole cellule *intendono* deliberatamente qualcosa con il loro comportamento, ma si atteggiano come se lo facessero. Questa è una ragione di più per negare l'abisso tra il mondo fisico e quello mentale suggerito dall'intuizione.[2] Almeno sotto questo aspetto, l'abisso di certo non c'è.

La referenzialità del cervello nei confronti del corpo ha altre due spettacolari conseguenze, anch'esse indispensabili per risolvere i due enigmi del rapporto mente-corpo e della coscienza. La mappatura estesa e completa del corpo non copre soltanto quello che solitamente consideriamo «corpo» in senso stretto – il sistema muscolo-scheletrico, gli organi interni, il *milieu* interno –, ma anche i particolari dispositivi deputati alla percezione, collocati in siti specifici di quello stesso corpo con la funzione di avamposti di osservazione: le mucose olfattiva e gustativa, i corpuscoli tattili della cute, le orecchie e gli occhi. Questi dispositivi sono localizzati nel corpo né più né meno del cuore e dell'intestino, e tuttavia occupano posizioni privilegiate. Diciamo che sono come brillanti incastonati in una montatura: hanno una componente costituita di «normalissima carne» (la montatura dei brillanti) e un'altra componente costituita dalla «sonda neurale», specializzata e raffinata (i brillanti). Esempi importanti della prima componente sono l'orec-

chio esterno, il canale uditivo, l'orecchio medio con i suoi ossicini e la membrana timpanica; oppure la cute e i muscoli intorno all'occhio, insieme alle varie parti dei globi oculari, retina esclusa, come il cristallino e la pupilla. Esempi delle raffinate sonde neurali comprendono invece la coclea dell'orecchio interno, con le sue sofisticate cellule acustiche e la sua capacità di mappare i suoni; e la retina, collocata nella parte posteriore del globo oculare, sulla quale vengono proiettate le immagini ottiche. Il luogo in cui la «normalissima carne» e la sonda neurale si combinano costituisce un confine corporeo. Per poter arrivare al cervello, i segnali provenienti dal mondo esterno devono attraversare quel confine. Non possono entrare nel cervello in modo diretto.

A causa di questa curiosa disposizione *la rappresentazione del mondo esterno al corpo può entrare nel cervello solo attraverso il corpo stesso,* e precisamente attraverso la sua superficie. Il corpo e l'ambiente circostante interagiscono reciprocamente, e le modificazioni che quella interazione produce *nel corpo* sono mappate nel cervello. È sicuramente vero che la mente apprende le informazioni sul mondo esterno attraverso il cervello, ma è ugualmente vero che il cervello può essere informato solo attraverso il corpo.

La seconda conseguenza speciale della referenzialità del cervello nei confronti del corpo non è meno notevole; mappando il corpo in modo integrato, il cervello riesce a creare la componente essenziale di quello che diventerà il sé. Come vedremo, la mappatura del corpo è una chiave per chiarire i problemi della coscienza.

Infine, come se i fatti appena esposti non fossero già di per sé assolutamente straordinari, le strette relazioni fra corpo e cervello sono essenziali anche per la comprensione di qualcos'altro, pure centrale per la nostra vita: fenomeni spontanei quali i sentimenti del corpo, le emozioni e i sentimenti delle emozioni.

In che modo il cervello esegue la mappatura del corpo? Si potrebbe rispondere che lo fa trattandolo, nella sua interezza come nelle sue parti, alla stregua di qualsiasi altro oggetto; in tal modo però non si renderebbe giustizia a questo tema. Per il cervello, infatti, il corpo è qualcosa di più di un semplice oggetto: è l'oggetto *al centro* della creazione delle mappe, il primissimo oggetto su cui si focalizzano le sue attenzioni. (Ogni volta che mi è possibile, uso il termine *corpo* per indicare «il corpo in senso stretto», escludendo il cervello. Naturalmente, anche il cervello fa parte del corpo, tuttavia ha uno status particolare, essendo la componente che può comunicare con tutte le altre e con la quale ogni altra a sua volta comunica).

William James aveva avuto un sentore della misura in cui il corpo doveva essere «portato» alla mente, ma non poteva sapere quanto si sarebbero rivelati intricati i meccanismi responsabili di quel trasferimento.[3] Per comunicare con il cervello, il corpo usa segnali chimici e neurali, e la gamma di informazioni trasmesse è più ampia e più dettagliata di quanto James potesse immaginare. In effetti, adesso sono convinto che limitarsi a parlare di comunicazione corpo-cervello significhi lasciarsi sfuggire il punto centrale della questione. Parte della segnalazione che va dal corpo al cervello dà luogo a una mappatura diretta (per esempio, la mappatura della posizione di un arto nello spazio); una parte sostanziale della segnalazione, però, viene preventivamente *trattata* dai nuclei subcorticali all'interno del midollo spinale e soprattutto nel tronco encefalico: nuclei che non dovrebbero essere concepiti come mere stazioni di transito per i segnali provenienti dal corpo e diretti alla corteccia cerebrale. Come vedremo nella prossima sezione, infatti, a quel livello intermedio viene aggiunto qualcosa: questo è importantissimo quando si tratta di segnali che riguardano l'interno del corpo e finiscono per costituire i sentimen-

ti. Alcuni aspetti della struttura fisica e della funzione del corpo, poi, sono impressi nei circuiti cerebrali fin da uno stadio precoce dello sviluppo, e generano configurazioni di attività persistenti. In altre parole, l'attività cerebrale ricrea costantemente una qualche versione del corpo. L'eterogeneità di quest'ultimo viene mimata nel cervello, in quello che è uno dei segni più incisivi della referenzialità del cervello nei confronti del corpo. Infine, il cervello può fare qualcosa di più che limitarsi a mappare, più o meno fedelmente, gli effettivi stati del corpo: può anche *trasformarli* e, in modo assolutamente impressionante, *simulare* quelli che non si sono ancora verificati.

Chi non ha familiarità con le neuroscienze probabilmente darà per scontato che il corpo operi come una singola unità, un singolo pezzo di carne connesso al cervello mediante cavi di tessuto vivo, denominati nervi. La realtà è ben diversa. Il corpo ha numerosi compartimenti separati. Di certo i visceri – ai quali si presta tanta attenzione – sono essenziali. Un loro elenco parziale comprende i soliti sospetti: cuore, polmoni, intestino, fegato e pancreas; bocca, lingua e gola; ghiandole endocrine (ipofisi, tiroide, surrenali, ecc.); ovaie e testicoli. Ma l'elenco deve includere anche sospetti un po' meno ovvi: per esempio, la cute che riveste tutto il nostro corpo, un organo ugualmente vitale anche se meno spesso riconosciuto come tale; il midollo osseo; e quei due fenomeni di dinamismo che sono il sangue e la linfa. Tutti questi compartimenti sono indispensabili per il normale funzionamento del corpo.

Forse non sorprende che la mente umana primitiva, meno integrata e meno sofisticata della nostra, percepisse facilmente la realtà composita e frammentaria del corpo, come testimoniano le parole arrivate fino a noi da Omero. Gli esseri umani dell'*Iliade* non parlano di un corpo intero (*soma*) ma piuttosto delle sue parti, e pre-

cisamente di membra. Il sangue, il respiro e le funzioni viscerali sono designati con la parola *psyche*, non ancora richiamata all'ordine per significare «mente» o «anima». La vitalità che è la forza motrice del corpo, probabilmente associata a impulsi ed emozioni, è indicata con *thymos* e *phren*.[4]

La comunicazione tra corpo e cervello ha luogo a doppio senso: dal corpo al cervello e viceversa. I due canali di comunicazione, tuttavia, non sono affatto simmetrici. I segnali – neurali e chimici – che dalla periferia vanno al cervello permettono a quest'ultimo di creare e mantenere una documentazione multimediale riguardante il corpo; questo, da parte sua, è in grado di allertare il cervello circa le importanti modificazioni di struttura e di stato che lo riguardano. Anche il *milieu* interno – il mezzo fluido in cui si trovano tutte le cellule del corpo e la cui composizione si esprime nei parametri chimici del sangue – invia segnali al cervello: non attraverso i nervi, ma avvalendosi di sostanze chimiche che si fanno strada direttamente in certe parti del cervello predisposte a ricevere i loro messaggi. La gamma di informazioni trasmesse al cervello, pertanto, è estremamente ampia. Essa comprende, fra l'altro, lo stato di contrazione o di rilasciamento della muscolatura liscia (la muscolatura che si trova, per esempio, nelle pareti delle arterie, dell'intestino e dei bronchi); la concentrazione locale di ossigeno e anidride carbonica in ogni distretto del corpo; la temperatura e il pH in diversi siti; la presenza locale di sostanze chimiche tossiche; e così via. In altre parole, il cervello conosce il precedente stato del corpo e può essere informato circa le modificazioni che vi hanno luogo. Quest'ultima possibilità è essenziale affinché il cervello produca risposte correttive a fronte dei cambiamenti che minacciano la vita. Per contro, i segnali neurali e chimici diretti dal cervello al corpo consistono di comandi tesi a modificare quest'ultimo. Il corpo dice al

cervello: ecco come sono, in questo momento dovresti vedermi così. Il cervello risponde dando al corpo le informazioni necessarie per mantenere il suo normale equilibrio. Ogni volta che occorre, lo istruisce anche su come dar luogo a uno stato emozionale.

È pure vero, peraltro, che il corpo non è limitato ai visceri e al *milieu* interno: ci sono anche, per esempio, due tipi diversi di muscoli, lisci e striati. Se osservata al microscopio, la varietà striata mostra una caratteristica bandatura (*striae*) assente nella varietà liscia. Quest'ultima è evolutivamente più antica ed è confinata ai visceri: è grazie a essa che l'intestino e i bronchi si contraggono e si distendono. Le pareti delle arterie sono in buona parte costituite da muscolatura liscia: quando essa si contrae, la pressione ematica sale. I muscoli striati, invece, trovano inserzione sulle ossa e producono i movimenti del corpo rispetto all'ambiente esterno. L'unica eccezione a questo schema è rappresentata dal cuore – anch'esso costituito di muscolatura striata –, le cui contrazioni non servono al movimento del corpo ma a pompare il sangue. I segnali che informano il cervello sullo stato del cuore sono inviati ai siti preposti al controllo dei visceri, e non a quelli che sovrintendono il movimento.

Quando i muscoli scheletrici sono inseriti su due ossa articolate fra loro, l'accorciamento delle fibre genera un movimento. Raccogliere un oggetto, camminare, parlare, respirare e mangiare sono tutte azioni che dipendono dalla contrazione e dal rilassamento dei muscoli scheletrici. Ogniqualvolta essi si contraggono, la configurazione del corpo cambia. Tranne che nei momenti di completa immobilità, peraltro poco frequenti nello stato di veglia, la configurazione del corpo nello spazio cambia di continuo, e di conseguenza cambia anche la mappa del corpo rappresentata nel cervello.

Per controllare con precisione il movimento, il corpo deve trasmettere al cervello, in tempo reale, le informa-

zioni sullo stato di contrazione della muscolatura scheletrica. Questo richiede vie nervose efficienti, evolutivamente più moderne di quelle che trasmettono i segnali provenienti dai visceri e dal *milieu* interno. Le informazioni portate da queste vie arrivano in regioni del cervello preposte al rilevamento dello stato dei muscoli scheletrici.

Come abbiamo già osservato, anche il cervello invia messaggi al corpo. Anzi, il fatto che molti aspetti degli stati corporei siano continuamente mappati nel cervello dipende dai segnali che quest'ultimo invia al corpo. Come nel caso della comunicazione diretta dal corpo al cervello, il cervello parla al corpo sia attraverso canali chimici, sia attraverso canali neurali: questi si servono di nervi i cui messaggi inducono la contrazione dei muscoli e l'esecuzione di azioni. I canali chimici coinvolgono invece gli ormoni, per esempio il cortisolo, il testosterone e gli estrogeni. Il rilascio di ormoni modifica il *milieu* interno e il funzionamento dei visceri.

Corpo e cervello sono impegnati in un'incessante coreografia interattiva. I pensieri formati nel cervello possono indurre stati emozionali poi eseguiti nel corpo, mentre quest'ultimo può modificare il paesaggio cerebrale e pertanto il substrato dei pensieri. Gli stati cerebrali, che corrispondono a certi stati mentali, inducono particolari stati corporei; questi sono poi mappati nel cervello e incorporati negli stati mentali in corso. Il verificarsi di una piccola alterazione sul versante cerebrale del sistema può avere conseguenze importanti sullo stato del corpo (basti pensare alla liberazione di un ormone); allo stesso modo, un piccolo cambiamento sul versante del corpo (si pensi al distacco di un'otturazione dentale) può avere un effetto intenso sulla mente, una volta che sia mappata e percepita come dolore acuto.

L'importante scuola di fisiologia fiorita in Europa nel periodo compreso tra la metà dell'Ottocento e l'inizio del Novecento descrisse con ammirevole accuratezza le caratteristiche della segnalazione diretta dal corpo al cervello; la rilevanza di questo schema generale ai fini della comprensione del problema mente-corpo passò tuttavia inosservata. Non sorprende dunque che i suoi dettagli neuroanatomici e neurofisiologici siano stati svelati solo negli ultimi anni.[5]

Lo stato *interno* del corpo è comunicato al cervello attraverso canali neurali dedicati, afferenti a regioni cerebrali specifiche. Speciali tipi di fibre nervose (le fibre Aδ e C) portano segnali provenienti da ogni anfratto del corpo a specifiche regioni del sistema nervoso centrale (per esempio la lamina I del corno posteriore del midollo spinale), al midollo spinale lungo tutta la sua estensione in senso anteroposteriore, e alla *pars caudalis* del nucleo del trigemino. Le componenti midollari gestiscono i segnali provenienti dal *milieu* interno e dai visceri di tutto il corpo eccettuata la testa: torace, addome e arti. Il nucleo del trigemino gestisce invece i segnali provenienti dal *milieu* interno e dai visceri della testa, compresa la faccia e la cute che la riveste, lo scalpo, e la dura madre, l'importantissima membrana meningea a livello della quale si genera il dolore cranico. Ugualmente dedicate sono le regioni cerebrali che gestiscono i segnali dopo il loro ingresso nel sistema nervoso centrale e quando segnali successivi avanzano verso i livelli superiori.

Come minimo, possiamo dire che questi messaggi neurali – insieme all'informazione chimica disponibile nel sangue circolante – informano il cervello sullo stato in cui versa, all'interno, buona parte del corpo: in altre parole, sullo stato delle componenti chimiche e viscerali dell'organismo, al di sotto del confine con il mondo esterno, rappresentato dalla cute.

La complessa mappatura del senso appena descritto,

riguardante l'interno del corpo, è denominata *enterocezione*, ed è completata dai canali, diretti dal corpo al cervello, che mappano lo stato della muscolatura scheletrica impegnata nel movimento e che sono parte dell'*esterocezione*. I messaggi provenienti dalla muscolatura scheletrica viaggiano su fibre a conduzione veloce di vario tipo (le fibre Aα e Aγ) e si servono di stazioni diverse interposte lungo la via che – nel sistema nervoso centrale – li porta ai centri cerebrali superiori. Il risultato di tutta quest'attività di segnalazione è che nel cervello, e quindi nella mente, viene tracciato un quadro multidimensionale del corpo.[6]

RAPPRESENTARE QUANTITÀ E COSTRUIRE QUALITÀ

La segnalazione appena descritta, diretta dal corpo al cervello, non ha a che fare semplicemente con la rappresentazione della quantità di certe molecole o del grado di contrazione della muscolatura liscia. Di certo i canali che portano le informazioni dal corpo al cervello trasmettono dati riguardanti determinate quantità (quanta CO_2 o quanto O_2 sia presente; quanto zucchero c'è nel sangue; eccetera). Accanto a questo, tuttavia, i risultati della trasmissione hanno anche un *aspetto qualitativo*. Lo stato del corpo viene avvertito come una variazione del piacere o del dolore, del rilassamento o della tensione: può esserci un senso di energia o di spossatezza, di leggerezza o di pesantezza fisica; di libero flusso o di resistenza, di entusiasmo o di scoraggiamento. Come viene ottenuto questo effetto qualitativo di fondo? Tanto per cominciare, disponendo i vari segnali quantitativi afferenti alle strutture del tronco encefalico e alle cortecce insulari in modo che essi *compongano* paesaggi diversi per gli eventi in corso nel corpo.

Per comprendere ciò che intendo, chiedo al lettore di immaginare uno stato di piacere (o di intenso dolore) e

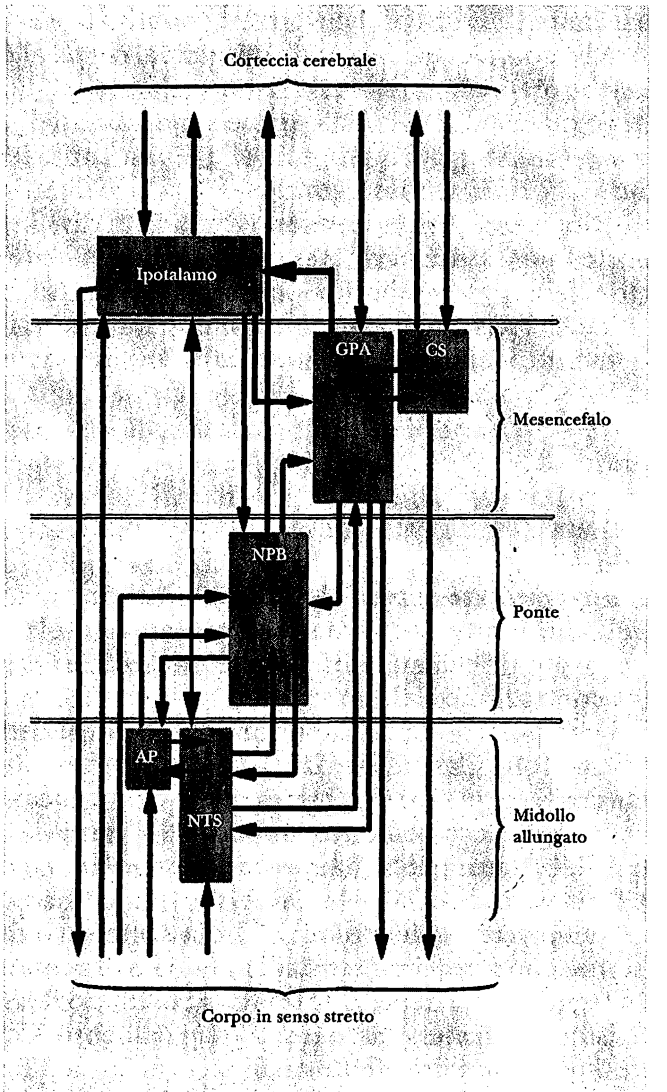


Figura 4.1 Schema dei principali nuclei del tronco encefalico implicati nella regolazione dei processi vitali (omeostasi). Sono indicati, in ordine discendente, tre livelli del tronco encefalico, e precisamente il mesencefalo, il ponte e il midollo allungato; è incluso anche l'ipotalamo (che è un componente

di cercare di enuclearne le componenti facendo un breve inventario delle diverse parti del corpo alterate nel processo: componenti endocrine, cardiache, circolatorie, respiratorie, intestinali, epidermiche e muscolari. Il sentimento di cui si avrà esperienza sarà la percezione integrata di tutti quei cambiamenti, nel momento in cui essi hanno luogo nel paesaggio del corpo. Come esercizio, si può effettivamente cercare di *comporre* il sentimento e assegnare un valore di intensità a ciascuna compo-

funzionale del tronco encefalico, sebbene, anatomicamente, faccia parte del diencefalo). La segnalazione da e verso il corpo in senso stretto, e da e verso la corteccia cerebrale, è indicata da frecce verticali. Sono raffigurate solo le connessioni fondamentali, limitatamente ai principali nuclei coinvolti nell'omeostasi. Nella figura non sono mostrati né i classici nuclei reticolari, né i nuclei monoaminergici o quelli colinergici.

Sebbene il tronco encefalico sia spesso considerato un mero sito di transito dei segnali diretti dal corpo al cervello e viceversa, la realtà è diversa. Strutture come il nucleo del tratto solitario (NTS) e il nucleo parabrachiale (NPB) trasmettono effettivamente segnali provenienti dal corpo e diretti al cervello, ma non lo fanno passivamente. Questi nuclei, la cui organizzazione topografica è un precursore di quella della corteccia cerebrale, *rispondono* ai segnali del corpo, e in tal modo regolano il metabolismo e salvaguardano l'integrità dei tessuti corporei. Inoltre, le loro abbondanti interazioni ricorsive (nello schema rappresentate da frecce reciproche) indicano che nel processo di regolazione della vita possono essere create nuove configurazioni di segnali. Il grigio periacqueduttale (GPA), un generatore di complesse risposte chimiche e motorie (per esempio quelle implicate nella reazione al dolore e nelle emozioni) che hanno quale loro bersaglio il corpo, è connesso in modo ricorsivo anche all'NPB e all'NTS. Il GPA è un collegamento fondamentale nel circuito risonante che connette corpo e cervello.

È ragionevole ipotizzare che nel processo di regolazione della vita le reti formate da questi nuclei diano anche origine a stati neurali compositi. La parola *sentimento* descrive l'aspetto mentale di quegli stati.

nente. Per ogni esempio immaginato, si otterrà una qualità diversa.

Vi sono tuttavia altri modi di costruire le qualità. In primo luogo, come abbiamo già visto, una parte significativa dei segnali provenienti dal corpo va incontro a un ulteriore trattamento in alcuni nuclei del sistema nervoso centrale. Ciò significa che i segnali sono elaborati a stadi intermedi, i quali dunque non sono semplici stazioni di relè. Probabilmente, l'apparato dell'emozione localizzato nei nuclei del grigio periacqueduttale influenza direttamente e indirettamente l'elaborazione dei segnali provenienti dal corpo, elaborazione che ha luogo nel nucleo parabrachiale. Non è noto esattamente, in termini neurali, che cosa sia aggiunto nel processo, anche se probabilmente l'aggiunta contribuisce alla qualità esperienziale dei sentimenti. In secondo luogo, le regioni che ricevono la segnalazione proveniente dal corpo e diretta al cervello rispondono, a loro volta, alterando lo stato corrente del corpo. Io immagino che queste risposte attivino uno stretto circuito risonante a doppio senso fra stati corporei e stati cerebrali. La mappa cerebrale dello stato corporeo e lo stato in cui effettivamente si trova il corpo non si discostano mai di molto. Il loro confine è sfocato; finiscono per essere pressoché fusi. La sensazione che nella carne si stiano verificando determinati eventi sorgerebbe proprio da questa disposizione. Una ferita, mappata nel nucleo parabrachiale all'interno del tronco encefalico e percepita come dolore, scatena nel corpo molteplici risposte, innescate dallo stesso nucleo parabrachiale ed eseguite nei nuclei contigui del grigio periacqueduttale. A loro volta, esse causano una reazione emozionale e una modificazione nell'elaborazione dei successivi segnali del dolore, le quali dapprima alterano immediatamente lo stato del corpo e in seguito la mappa del corpo tracciata dal cervello. Probabilmente, poi, le risposte che originano dalle regioni preposte alla percezione del corpo alterano il funzionamento di altri sistemi percettivi, modulando in tal modo non solo

la percezione del corpo, ma anche quella del contesto in cui ha luogo la segnalazione che da esso proviene. Nell'esempio della ferita, accanto alla modificazione del corpo, vi sarà anche un'alterazione dell'elaborazione cognitiva: fintanto che si avverte il dolore della ferita, non vi è modo di continuare a godere delle attività in cui si era impegnati, quali che esse fossero. Questa alterazione della cognizione viene probabilmente ottenuta mediante la liberazione di molecole da parte dei nuclei neuromodulatori del tronco encefalico e del prosencefalo basale. Nel complesso, questi processi condurranno alla costruzione di mappe qualitativamente distinte, contribuendo così al substrato delle esperienze del dolore e del piacere.

SENTIMENTI PRIMORDIALI

Il problema riguardante il modo in cui le mappe percettive dei nostri stati corporei diventano sentimenti corporei – il modo in cui le mappe percettive sono *sentite* ed *esperite* – non solo è essenziale per comprendere la mente cosciente: è parte integrante di quella comprensione. Non è possibile spiegare in modo completo la soggettività senza sapere qualcosa sulle origini dei sentimenti e senza riconoscere l'esistenza di *sentimenti primordiali,* che riflettono spontaneamente lo stato del corpo che vive. Nella mia prospettiva, i sentimenti primordiali non derivano se non da quest'ultimo, e precedono qualsiasi interazione fra i meccanismi di regolazione dei processi vitali e un qualsivoglia oggetto. I sentimenti primordiali sono i precursori di tutti gli altri sentimenti (un'idea su cui tornerò nella terza parte) e si fondano sul funzionamento dei nuclei del tronco encefalico superiore, che sono parte integrante dei meccanismi di regolazione dei processi vitali.

Che in moltissimi suoi aspetti il corpo sia continuamente mappato nel cervello, e che una quantità variabile ma considerevole delle informazioni associate penetri nella mente cosciente, è un fatto dimostrato. Affinché il cervello possa coordinare gli stati fisiologici nel corpo – cosa che fa senza che noi abbiamo la consapevolezza cosciente di ciò che sta accadendo –, occorre che sia informato sul valore dei vari parametri fisiologici nelle diverse regioni del corpo. Per consentire un controllo ottimale, l'informazione deve essere coerente e aggiornata, istante per istante.

Questo però non è l'unico sistema che connette corpo e cervello. Era all'incirca il 1990 quando ipotizzai che in determinate circostanze, per esempio mentre si sviluppa un'emozione, il cervello costruisca rapidamente mappe del corpo simili a quelle che creerebbe se esso fosse effettivamente modificato da quella stessa emozione. La creazione della mappa può avvenire prima che nel corpo si verifichino le modificazioni emozionali, o addirittura *in loro vece.* In altre parole, all'interno delle sue regioni somatosensoriali, il cervello può *simulare* certi stati del corpo, *come se* essi si stessero verificando; e poiché la nostra percezione di qualsiasi stato del corpo è radicata nelle mappe che si formano nelle regioni somatosensoriali, percepiamo lo stato corporeo come se stesse davvero avendo luogo, anche se non è così.[7]

Quando avanzai per la prima volta l'ipotesi del «circuito del corpo "come se"», le evidenze che mi riuscì di mettere insieme in suo favore erano tutte indirette. Per il cervello, avere una conoscenza dello stato corporeo che è in procinto di produrre ha una sua logica. I vantaggi di questa sorta di «simulazione anticipata» sono evidenti dagli studi sul fenomeno della copia di efferenza: quest'ultima consente alle strutture motorie sul punto di comandare l'esecuzione di un certo movimento di informare le strutture visive circa le probabili conseguen-

ze, in termini di spostamento spaziale, di quel movimento imminente. Per esempio, quando i nostri occhi stanno per muoversi verso un oggetto alla periferia del campo visivo, l'area visiva del cervello viene avvertita in anticipo del movimento imminente e quindi preparata a facilitare il passaggio al nuovo oggetto senza che abbiano luogo sfocature. In altre parole, l'area visiva viene messa in condizione di anticipare le conseguenze del movimento.[8] La simulazione di uno stato corporeo, senza che esso sia realmente prodotto, ridurrebbe il tempo di elaborazione e consentirebbe un risparmio di energia. L'ipotesi del circuito «come se» implica che le strutture cerebrali preposte all'innesco di una particolare emozione siano in grado di connettersi alle strutture in cui sarebbe mappato lo stato del corpo corrispondente a quell'emozione. Per esempio, l'amigdala (un sito che innesca la paura) e la corteccia prefrontale ventromediale (un sito che innesca la compassione) dovrebbero connettersi alle regioni somatosensoriali (aree come la corteccia insulare, la SII, la SI e le cortecce associative somatosensoriali), nelle quali gli stati del corpo in corso sono continuamente elaborati. Tali connessioni esistono, e pertanto rendono possibile l'attuazione del meccanismo del circuito «come se».

In anni recenti, questa ipotesi ha ricevuto ulteriori conferme da diverse fonti, una delle quali è rappresentata da una serie di esperimenti – condotti da Giacomo Rizzolatti e dai suoi colleghi – che facevano uso di elettrodi impiantati nel cervello di scimmie. L'animale osservava uno sperimentatore mentre questi eseguiva azioni diverse. Quando guardava l'uomo muovere la mano, la scimmia presentava un'attivazione delle regioni cerebrali implicate nei movimenti della *sua* mano, «come se» fosse stata lei, e non lo sperimentatore, a eseguire l'azione. In realtà, però, la scimmia restava immobile. Gli autori chiamarono i neuroni che esibivano questo comportamento «neuroni specchio».[9]

I cosiddetti neuroni specchio sono, in effetti, il dispo-

sitivo corporeo «come se» per eccellenza. La rete che comprende questi neuroni realizza concettualmente ciò che io avevo ipotizzato quale sistema del circuito corporeo «come se»: la simulazione – nelle mappe del corpo tracciate dal cervello – di uno stato corporeo che non sta avendo luogo realmente. Il fatto che lo stato simulato dai neuroni specchio non coincida con lo stato reale del soggetto amplifica il potere di questa somiglianza funzionale. Se un cervello complesso può simulare lo stato del corpo di qualcun altro, si presume che sia anche in grado di simulare quello del proprio: in particolare, uno stato già verificatosi dovrebbe essere più facile da simulare, dal momento che è già stato mappato dalle stesse strutture somatosensoriali ora responsabili della simulazione. Nella mia ipotesi, il sistema «come se» applicato ad altri non si sarebbe sviluppato se prima non fosse esistito un sistema «come se» applicato allo stesso organismo di cui il cervello in questione è proprietario.

La natura delle strutture cerebrali implicate nel processo conferma la suggestiva somiglianza funzionale fra il circuito corporeo «come se» e il funzionamento dei neuroni specchio. Riguardo a questo circuito ho ipotizzato che i neuroni localizzati in aree impegnate nell'esecuzione delle emozioni – per esempio la corteccia premotrice-prefrontale (nel caso della compassione) e l'amigdala (nel caso della paura) – attivino regioni le quali normalmente mappano lo stato del corpo e, a loro volta, lo spingono all'azione. Negli esseri umani, tali regioni includono il complesso somatomotorio localizzato negli opercoli rolandico e parietale, come pure la corteccia dell'insula. Tutte queste regioni hanno un duplice ruolo somatomotorio: possono contenere una mappa dello stato corporeo (avere cioè un ruolo sensoriale) e possono anche partecipare all'azione. In linea di massima, questo è quanto è stato scoperto negli esperimenti neurofisiologici sulle scimmie. Tali risultati sono in linea anche con gli studi eseguiti sull'uomo avvalendosi di tecniche magnetoencefalografiche[10] e di neuroimmagine

funzionale.[11] Gli studi condotti dal nostro gruppo, basati su lesioni neurologiche, puntano nella stessa direzione.[12]

I tentativi di spiegare l'esistenza dei neuroni specchio hanno enfatizzato il loro possibile ruolo nel consentirci di comprendere le azioni altrui mettendo noi stessi in uno stato corporeo analogo. Quando assistiamo all'azione eseguita da un'altra persona, il nostro cervello, con la sua sensibilità nei confronti degli stati del corpo, adotta la stessa configurazione che assumerebbe se fossimo noi a muoverci, e con ogni probabilità non lo fa servendosi di configurazioni sensoriali passive, ma attraverso la preattivazione di strutture motorie (pronte all'azione ma alle quali non è stato ancora consentito di agire) e, in alcuni casi, attraverso una reale attivazione motoria.

Come è evoluto un sistema fisiologico di tale complessità? Io sospetto che si sia sviluppato da un preesistente circuito «come se», da tempo usato dai cervelli complessi per simulare i *propri* stati corporei. Questo avrebbe comportato un vantaggio chiaro e immediato: l'attivazione rapida ed energeticamente economica delle mappe di certi stati corporei, che erano a loro volta associati a conoscenze passate e a strategie cognitive rilevanti. Alla fine, il sistema «come se» fu applicato agli altri, e si diffuse in virtù dei vantaggi sociali ugualmente ovvi ricavabili dal conoscere gli stati corporei di altri individui, espressione dei loro stati mentali. In breve, io considero il circuito corporeo «come se», all'interno di ciascun organismo, come il precursore della funzione dei neuroni specchio.

Come vedremo nella terza parte, il fatto che il corpo di un dato organismo possa essere rappresentato nel cervello è essenziale ai fini della creazione del sé. Tuttavia, la rappresentazione del corpo da parte del cervello ha anche un'altra fondamentale implicazione: poiché siamo in grado di raffigurarci i nostri stati corporei, riusciamo a simulare più facilmente quelli equivalenti, negli altri. Di conseguenza la connessione che abbiamo

stabilito fra gli stati del nostro corpo e il significato che essi hanno acquisito per noi può essere estrapolata alla simulazione degli stati corporei altrui, e a quel punto noi possiamo attribuire un significato simile anche alla simulazione. La gamma di fenomeni denotati dal termine *empatia* deve moltissimo a questo sistema.

ORIGINE DI UN'IDEA

Intravidi per la prima volta la possibilità che ho appena descritto molti anni fa, in uno strano, memorabile episodio. Era un pomeriggio d'estate, e io stavo lavorando in laboratorio; mi ero alzato dalla sedia e stavo attraversando lo studio quando all'improvviso mi venne in mente il mio collega B. Non avevo alcuna ragione particolare per pensare a lui: non lo avevo visto di recente, non avevo bisogno di parlargli, non avevo letto nulla che lo riguardasse, e non avevo in progetto di incontrarlo – eppure eccolo lì, presente nella mia mente, a ricevere tutta la mia attenzione. Noi pensiamo in continuazione ad altre persone; questo però era diverso, perché la presenza di B. era inattesa e richiedeva una spiegazione. Perché, in quel momento, mi ero messo a pensare al dottor B.?

Quasi subito una rapida successione di immagini mi fece capire quello che mi serviva sapere. Mentalmente, ripercorsi i miei movimenti, e mi resi conto che – per un paio di istanti soltanto – mi ero mosso in una *maniera* che era precisamente quella in cui si muoveva il mio collega B. Era qualcosa che aveva a che fare con il modo di far oscillare le braccia e di piegare le gambe: ora che avevo scoperto perché ero stato costretto a pensare a lui, con l'occhio della mente riuscii a immaginare con gran chiarezza la sua andatura. Il bello, però, è che le immagini visive che mi ero formato erano state indotte – meglio ancora, plasmate – dall'immagine dei *miei* muscoli

e delle *mie* ossa, mentre esse adottavano i caratteristici movimenti del mio collega B. In breve, io avevo appena camminato *come* lui; avevo rappresentato nella mia mente il mio scheletro in movimento (tecnicamente, avevo generato un'immagine somatosensoriale); e alla fine avevo ricordato il corrispondente visivo appropriato di quella particolare immagine muscoloscheletrica: l'immagine del mio collega.

Non appena l'identità dell'intruso fu rivelata, capii anche qualcosa di affascinante sul cervello umano; io potevo adottare il movimento caratteristico di qualcun altro per puro caso. (O quasi: in una successiva ripetizione, mi ricordai di aver visto B. camminare vicino alla finestra del mio studio qualche tempo prima. Lo avevo elaborato prestandogli poca attenzione o forse senza prestargliene affatto, in larga misura non cosciente). Potevo trasformare il movimento così rappresentato in una immagine visiva corrispondente, e potevo recuperare dalla memoria l'identità di una persona o di alcune persone che coincidevano con quella descrizione. Tutto questo testimoniava le strette interconnessioni fra un movimento reale del corpo, le rappresentazioni di quel movimento in termini muscoloscheletrici e visivi, e i ricordi che possono essere evocati in relazione ad alcuni aspetti di quelle rappresentazioni.

Questo episodio, arricchito da ulteriori osservazioni e successive riflessioni, mi fece comprendere che noi entriamo in connessione con gli altri non soltanto attraverso le immagini visive, il linguaggio e le inferenze logiche, ma anche grazie a qualcosa di più profondamente annidato nella carne: le azioni con cui possiamo rappresentare i movimenti altrui. Siamo in grado di eseguire traduzioni a quattro vie fra 1) movimento reale, 2) rappresentazioni somatosensoriali del movimento, 3) rappresentazioni visive del movimento e 4) memoria. Questo episodio avrebbe avuto un ruolo importante nello sviluppo del concetto di simulazione corporea e della sua applicazione nel circuito corporeo «come se».

I bravi attori, lo sappiamo bene, si servono generosamente di tali dispositivi, in modo più o meno consapevole. Alcuni grandi attori incanalano certe personalità nelle proprie performance attingendo proprio da questo potere di rappresentare visivamente e uditivamente gli altri, e di conferire poi loro una qualità fisica utilizzando il proprio corpo. Ecco che cosa significa calarsi in una parte; se poi quel processo di trasferimento viene abbellito da dettagli inattesi e creativi, assistiamo a una performance di genio.

IL CERVELLO HA IN MENTE IL CORPO

La situazione emergente dai dati e dalle riflessioni appena esposti è strana e inattesa, ma assolutamente liberatoria.

Tutti noi possiamo avere in mente il nostro corpo, in continuazione, il che ci fornisce uno sfondo di sentimento, potenzialmente disponibile in ogni istante, ma che diventa degno di nota solo quandò si distacca in modo significativo dagli stati di relativo equilibrio e comincia a esprimersi nella gamma del piacere e del non-piacere. Noi abbiamo in mente il nostro corpo perché questo ci aiuta a controllare il comportamento in ogni genere di situazione che potrebbe minacciare l'integrità dell'organismo e compromettere la vita. Questa particolare funzione attinge alla più antica regolazione dei processi vitali basata su un cervello. Essa si rifà alla semplice segnalazione diretta dal corpo al cervello, agli elementari suggerimenti di risposte regolatorie automatiche, intese a coadiuvare la gestione dei processi vitali. Non possiamo che meravigliarci di fronte a quanto è stato realizzato a partire da un esordio tanto modesto. Una mappatura del corpo, eseguita a un livello estremamente raffinato, è alla base *sia* del processo del sé nelle menti coscienti, *sia* delle rappresentazioni del mondo esterno all'or-

ganismo. Il mondo interiore ha dunque aperto la strada alla nostra capacità di *conoscere* non soltanto quello stesso mondo interiore, ma anche l'ambiente che è intorno a noi.

Il corpo vivente è il luogo centrale di tutta questa attività, motivata e dettata dalle esigenze di regolazione dei processi vitali. La mappatura operata dal cervello ha un ruolo facilitatore, è il motore che trasforma la semplice attività di regolazione dei processi vitali in una regolazione basata dapprima sulla mente e, infine, sulla mente dotata di coscienza.

5
EMOZIONI E SENTIMENTI

PER UNA COLLOCAZIONE DELL'EMOZIONE E DEL SENTIMENTO

Nel tentativo di comprendere il comportamento umano, molti hanno cercato di farlo tralasciando l'emozione, senza tuttavia trarne alcun vantaggio. Il comportamento e la mente dotata o meno di coscienza, insieme al cervello che li genera entrambi, rifiutano di cedere i propri segreti, a meno che non si consideri, rendendole giustizia, anche l'emozione (con i molti fenomeni che si celano sotto il suo nome).

Una discussione sul tema dell'emozione ci riporta alla questione della vita e del valore. Essa richiede che si faccia un cenno ai dispositivi di ricompensa e punizione, agli impulsi e alle motivazioni e, necessariamente, ai sentimenti. Una discussione sulle emozioni implica un'indagine sui dispositivi, estremamente vari, di regolazione della vita, i quali sono presenti nel cervello ma si ispirano a princìpi e obiettivi che da un punto di vista evolutivo lo hanno preceduto e che in linea di massima operano in modo automatico e per certi versi cieco, fino a quando la mente cosciente comincia a conoscerli sotto forma di sentimenti. Le emozioni sono servitori ed esecutori diligenti del principio di valore, e sono finora il prodotto più intelligente del valore biologico. D'altro

canto, il prodotto delle emozioni – i sentimenti che colorano tutta la nostra vita, dalla culla alla tomba – ha per l'umanità una importanza tale per cui le emozioni non siano ignorate.

Nella terza parte, quando affronterò i meccanismi neurali alla base della costruzione del sé, invocherò spesso i fenomeni dell'emozione e del sentimento, perché il loro apparato è coinvolto in quel processo. Scopo di questo capitolo non è tanto quello di presentare una rassegna generale delle emozioni e dei sentimenti, quanto piuttosto quello di introdurre brevemente quell'apparato.

DEFINIZIONE DI «EMOZIONE» E «SENTIMENTO»

Le conversazioni sull'emozione si trovano ad affrontare due problemi fondamentali. Uno consiste nell'eterogeneità dei fenomeni che soddisfano i requisiti della definizione. Come abbiamo visto nel capitolo 2, il principio di valore opera attraverso dispositivi di ricompensa e punizione come pure attraverso impulsi e motivazioni, che sono parte integrante della famiglia delle emozioni. Quando parliamo delle emozioni in senso stretto (per esempio di paura, rabbia, tristezza o disgusto), necessariamente parliamo anche di tutti quegli altri dispositivi, giacché essi sono parti costitutive di ciascuna emozione e sono implicati in modo indipendente nella regolazione dei processi vitali. Le emozioni in senso stretto non sono che un prezioso coronamento, ben integrato nei processi di regolazione della vita.

L'altro importante problema è la distinzione fra emozione e sentimento, i quali – sebbene parte di un ciclo dai componenti intimamente connessi – sono processi distinguibili. Non importa quali parole scegliamo per riferirci a tali processi distinti, purché riconosciamo che l'essenza dell'emozione e l'essenza del sentimento *sono* diverse. Naturalmente, non vi è nulla di sbagliato nelle

parole *emozione* e *sentimento*, ed esse funzionano perfettamente allo scopo tanto in inglese quanto in molte lingue nelle quali hanno una traduzione diretta. Cominciamo, allora, da una definizione di questi termini fondamentali, alla luce delle attuali conoscenze nel campo della neurobiologia.

Le emozioni sono programmi di *azione* complessi e in larga misura automatici, messi a punto dall'evoluzione. Le azioni sono accompagnate da un programma *cognitivo* comprendente particolari idee e modalità di cognizione; il mondo delle emozioni, tuttavia, è in buona parte un mondo di azioni che vengono eseguite nel corpo e spaziano dalle espressioni facciali e dalle diverse posture, alle modificazioni che interessano i visceri e il *milieu* interno.

I sentimenti delle emozioni, d'altro canto, sono *percezioni* composite di quello che accade nel nostro corpo e nella nostra mente quando ha luogo un'emozione. Per quanto riguarda il corpo, più che azioni vere e proprie i sentimenti sono immagini di azioni; il mondo dei sentimenti è un mondo di percezioni eseguite nelle mappe cerebrali. A questo punto, tuttavia, occorre fare una precisazione: le percezioni che noi chiamiamo «sentimenti delle emozioni» comprendono una particolare componente che corrisponde ai già discussi sentimenti primordiali, basati su quella relazione esclusiva, esistente fra il corpo e il cervello, che privilegia l'*enterocezione*. Naturalmente esistono altri aspetti del corpo rappresentati nei sentimenti delle emozioni, tuttavia l'enterocezione domina il processo ed è responsabile di quello che designiamo come l'aspetto *sentito* di queste percezioni.

La distinzione generale fra emozione e sentimento, allora, è ragionevolmente chiara. Mentre le emozioni sono azioni accompagnate da idee e da particolari modalità di pensiero, i sentimenti delle emozioni sono perlopiù le percezioni di quello che il nostro corpo fa mentre l'emozione è in corso, unite alla percezione del nostro stato mentale in quel medesimo lasso di tempo. Ne-

gli organismi semplici capaci di comportamento ma senza un processo della mente, le emozioni possono essere rigogliosissime, senza tuttavia dare necessariamente seguito a corrispondenti stati del sentire.

Le emozioni hanno luogo quando le immagini elaborate nel cervello attivano un certo numero di regioni – per esempio l'amigdala o particolari regioni della corteccia del lobo frontale – in grado di innescarle. Quando una qualsiasi di queste regioni innescanti viene attivata, si hanno particolari conseguenze: alcune molecole (nel caso della paura, per esempio, il cortisolo) vengono secrete dalle ghiandole endocrine e dai nuclei subcorticali e sono liberate sia nel cervello, sia nel resto del corpo; sono inoltre intraprese azioni particolari (sempre nel caso della paura, la fuga o l'immobilizzazione, la contrazione dell'intestino); e, infine, vengono assunte particolari espressioni (un'espressione facciale e una postura di terrore). Un aspetto importante, almeno negli esseri umani, è che affiorano alla mente anche idee e piani d'azione particolari. Un'emozione negativa come la tristezza, per esempio, porta a rievocare idee riguardanti fatti anch'essi negativi; un'emozione positiva sortisce l'effetto opposto; i piani d'azione visualizzati nella nostra mente sono anch'essi coerenti con l'espressione generale dell'emozione. Non appena si sviluppa un'emozione, vengono prontamente istituiti particolari stili di elaborazione mentale. La tristezza rallenta il pensiero e può portare a indugiare nella situazione che l'ha causata; la gioia, per contro, può accelerare il pensiero e ridurre l'attenzione prestata a eventi non rilevanti. L'insieme di tutte queste risposte costituisce uno «stato emozionale» che si dispiega nel tempo, in modo abbastanza rapido, per poi diradarsi finché nella mente non sono introdotti nuovi stimoli in grado di causare emozioni, dando così inizio a un'altra reazione a catena.

I sentimenti delle emozioni costituiscono il passaggio

ulteriore che segue a ruota l'emozione e sono il risultato ultimo, legittimo e consequenziale, del suo processo: in altre parole, la percezione composita di tutto quello che è accaduto durante l'emozione, ovvero le azioni, le idee, lo stile che caratterizza il flusso di queste ultime (che può procedere in modo lento o veloce, fissarsi su un'immagine, oppure scambiare rapidamente le immagini fra loro).

Da una prospettiva neurale, il ciclo emozione-sentimento comincia nel cervello: dapprima con la percezione e la valutazione di uno stimolo potenzialmente in grado di causare un'emozione, e successivamente con l'innesco di quest'ultima. Il processo poi si estende sia ad altre regioni del cervello, sia al corpo in senso stretto, dando luogo allo stato emozionale. Alla fine, il processo torna al cervello affinché al ciclo sia aggiunta la componente rappresentata dal sentimento; tale ritorno interessa tuttavia regioni cerebrali diverse da quelle in cui il processo ha avuto inizio.

I programmi delle emozioni incorporano tutte le componenti dell'apparato per la regolazione dei processi vitali venuti in essere nel corso dell'evoluzione, quali la percezione e il rilevamento delle condizioni, la misura delle esigenze interne, il processo di incentivazione (con i suoi aspetti di ricompensa e punizione) e i dispositivi di previsione. Impulsi e motivazioni sono i costituenti più semplici di un'emozione: ecco perché la felicità o la tristezza alterano lo stato degli impulsi e delle motivazioni, mutando immediatamente il quadro composito di appetiti e desideri.

EMOZIONI: INNESCO ED ESECUZIONE

Come vengono innescate le emozioni? Molto semplicemente, tramite immagini di oggetti o eventi che stanno realmente accadendo in tempo reale o che, essendo

accaduti in passato, vengono rievocati. Per l'apparato delle emozioni, la situazione in cui siamo comporta una differenza: possiamo effettivamente trovarci in una scena della nostra vita e reagire a un'esecuzione musicale o alla presenza di un amico; oppure possiamo essere da soli e ricordare una conversazione che è avvenuta il giorno prima e che ci ha turbati. Le immagini possono essere «dal vivo», ricostruite grazie alla memoria, o ancora create dal nulla nell'immaginazione; in ogni caso, danno inizio a una catena di eventi. I segnali provenienti dalle immagini elaborate sono messi a disposizione di diverse regioni del cervello. Di queste ultime, alcune sono coinvolte nel linguaggio, altre nel movimento, altre ancora nelle manipolazioni che costituiscono il ragionamento. L'attività in una qualsiasi di quelle regioni conduce a risposte diverse: parole con le quali è possibile denominare un oggetto; rapida evocazione di altre immagini che consentono di concludere qualcosa su di esso; eccetera. È importante osservare che i segnali provenienti dalle immagini di un certo oggetto arrivano anche in regioni in grado di innescare reazioni a catena specifiche. Questo è, per esempio, il caso dell'amigdala nelle situazioni di paura; o quello della corteccia prefrontale ventromediale in situazioni che inducono compassione. I segnali sono messi a disposizione di tutti questi siti; probabilmente, però, certe configurazioni di segnali – purché questi ultimi siano sufficientemente intensi e il contesto sia appropriato – attivano solo un sito particolare e non tutti gli altri dove sono pure disponibili. È quasi come se certi stimoli avessero la chiave giusta per una certa serratura, anche se la metafora non coglie la qualità dinamica e flessibile del processo. Questo è il caso degli stimoli che inducono paura, i quali spesso attivano l'amigdala e riescono, appunto, a innescare la cascata corrispondente a questa emozione. Il medesimo insieme di stimoli non ha la stessa probabilità di attivare altri siti. A volte, tuttavia, se gli stimoli sono sufficientemente ambigui da attivare più di un sito, viene prodotto

uno stato emozionale composito. Ne consegue un'esperienza dolceamara, un sentimento «misto» che scaturisce da un'emozione pure mista.

Per molti aspetti, questa è la stessa strategia adottata dal sistema immunitario per rispondere ad agenti invasori provenienti dall'esterno. Sulla superficie cellulare di alcuni globuli bianchi denominati linfociti, vi è un vastissimo repertorio di anticorpi che si combinano con un numero ugualmente grande di possibili antigeni invasori. Quando uno di questi antigeni penetra nel sangue circolante ed entra in contatto con i linfociti, finisce per legarsi con l'anticorpo più adatto alla sua forma. In altre parole, l'antigene si adatta all'anticorpo come una chiave alla serratura, e il risultato è una reazione immunitaria: il linfocita produrrà quell'anticorpo in quantità tale che esso contribuirà a distruggere l'antigene invasore. Ho dunque proposto il termine «stimolo emozionalmente competente» per rifarmi al sistema immunitario e attirare l'attenzione sulla somiglianza formale fra il dispositivo delle emozioni e un altro fondamentale apparato coinvolto nella regolazione dei processi vitali.

Una volta che «la chiave entra nella serratura» quel che accade certamente non manca di turbare, nel vero e proprio senso del termine; equivale infatti, a vari livelli nell'organismo – dal cervello stesso, a moltissimi distretti del corpo –, a una perturbazione dello stato vitale in corso. Riprendendo ancora una volta l'esempio della paura, le perturbazioni sono le seguenti.

I nuclei delle amigdale inviano comandi all'ipotalamo e al tronco encefalico, i quali si traducono in diverse azioni eseguite in parallelo. La frequenza cardiaca, la pressione ematica, il ritmo respiratorio e lo stato di contrazione dell'intestino cambiano. I vasi sanguigni cutanei si contraggono. Nel sangue viene secreto il cortisolo, e ciò modifica il profilo metabolico dell'organismo e lo prepara a un consumo extra di energia. I muscoli della

faccia adottano una caratteristica maschera di paura. A seconda del contesto in cui compaiono le immagini che inducono la paura, l'individuo può immobilizzarsi oppure fuggire dalla fonte di pericolo. L'immobilizzazione o la fuga, due reazioni molto specifiche, sono finemente controllate, nel tronco encefalico, da regioni distinte del grigio periacqueduttale (GPA). Ciascuna risposta ha la sua routine motoria e il suo correlato fisiologico specifici. L'immobilizzazione induce automaticamente uno stato di inattività, accompagnato da respirazione superficiale e frequenza cardiaca ridotta: tutti vantaggi nel tentativo di rimanere immobili ed eludere le attenzioni di un aggressore. L'opzione della fuga, invece, aumenta automaticamente la frequenza cardiaca e il flusso ematico agli arti inferiori, poiché per fuggire occorre una buona ossigenazione dei muscoli delle gambe. Inoltre, se il cervello sceglie l'opzione della fuga, automaticamente il GPA smorza l'attività lungo le vie di elaborazione del dolore. Perché? Per ridurre al massimo il rischio che il dolore intenso di una ferita procurata nella fuga paralizzi il fuggitivo.

I meccanismi sono così raffinati che anche un'altra struttura, il cervelletto, farà il possibile per modulare l'espressione della paura. Ecco perché chi ha ricevuto un addestramento militare nei corpi speciali, esprime le proprie reazioni di paura in modo diverso da chi è stato allevato nella bambagia.

Per finire, l'elaborazione delle immagini nella corteccia cerebrale è essa stessa influenzata dall'emozione in corso. Risorse cognitive come l'attenzione e la memoria di lavoro, per esempio, vengono adattate alle circostanze. Alcuni temi di ideazione diventano improbabili: quando si fugge da un cecchino, difficilmente si indulge a pensieri di sesso o di cibo.

Nell'arco di qualche centinaio di millisecondi, la cascata emozionale riesce a trasformare lo stato in cui versano numerosi visceri, il *milieu* interno, la muscolatura striata della faccia, la postura, la velocità stessa della

mente e l'argomento dei pensieri. Di certo si tratta di una perturbazione, sono sicuro che chiunque ne converrà. Quando l'emozione è abbastanza forte, una parola ancora più calzante è *upheaval*, «sconvolgimento», termine usato dalla filosofa Martha Nussbaum.[1] Tutto questo sforzo, complicato nell'orchestrazione e dispendioso per la quantità di energia che consuma (ecco spiegato perché essere emotivi è tanto sfibrante), tende ad avere – e spesso, ma non sempre, ha – un fine utile. In alcuni casi, la paura potrebbe non essere altro che un falso allarme lanciato da una cultura non più funzionale. Invece di salvarci la vita, la paura diventa allora un fattore di stress, il quale, a lungo andare, distrugge la vita sia dal punto di vista mentale, sia dal punto di vista fisico: lo sconvolgimento ha conseguenze negative.[2]

Una versione dell'intero repertorio dei cambiamenti emozionali in corso nel corpo viene trasmessa al cervello attraverso i meccanismi tratteggiati nel capitolo 4.

LO STRANO CASO DI WILLIAM JAMES

Prima che io mi dedichi alla fisiologia dei sentimenti, credo sia appropriato citare William James e discutere la situazione venutasi a creare sia intorno a lui, sia intorno ai successivi studi scientifici sull'argomento, a causa delle parole che egli scrisse a proposito dei fenomeni dell'emozione.

La questione può essere riassunta in modo rapido ed efficace citando un suo passaggio lapidario.

> Il nostro modo naturale di pensare a queste emozioni è che la percezione mentale di alcuni fatti ecciti l'affezione mentale denominata emozione, e che quest'ultimo stato della mente dia origine all'espressione corporea. La mia tesi, al contrario, è che le modificazioni del corpo seguano direttamente la PERCEZIONE del fatto eccitatorio e che il nostro sen-

tire quelle stesse modificazioni, nel momento in cui hanno luogo, SIA l'emozione.[3]

Queste sono le parole testuali di James, scritte nel 1884, comprese le maiuscole di *percezione* e *sia.*

L'importanza di questa idea non può essere sopravvalutata. James invertì, nel processo dell'emozione, la tradizionale sequenza di eventi, interponendo il corpo fra lo stimolo causativo e l'esperienza dell'emozione. Non vi era più un' « affezione mentale », denominata emozione, che « dava origine agli effetti corporei ». Questi ultimi, invece, erano causati dalla percezione di uno stimolo: un'ipotesi audace, che la ricerca moderna ha confermato appieno. Il passo citato contiene però un fondamentale problema. Dopo aver fatto riferimento senza mezzi termini al « nostro sentire quelle stesse modificazioni », James confonde il quadro affermando che, dopo tutto, quel sentire « SIA » l'emozione. Questo equivale a unire emozione e sentimento. James respinge l'idea dell'emozione come affezione mentale che causa modificazioni corporee, solo per accettarla come affezione mentale costituita dal sentimento delle modificazioni corporee – un quadro del tutto diverso da quello che io ho presentato in precedenza. Non è chiaro se questa sia una formulazione infelice o un'espressione accurata di quello che James pensava effettivamente. Sia come sia, la mia idea delle emozioni come programmi di azione non corrisponde all'idea di James nella forma in cui egli la esprime nel suo testo; il concetto di sentimento di James non è uguale al mio. Tuttavia, la sua idea del meccanismo del sentire è molto simile a quella del mio meccanismo del sentimento basato sul circuito del corpo. (James non contempla un meccanismo « come se », sebbene una nota, nel suo testo, faccia pensare che ne vedesse la necessità).

Le critiche che la teoria delle emozioni di James avrebbe subìto nel Novecento sono perlopiù da attribuirsi alla formulazione del paragrafo citato. Fisiologi di fama co-

me Charles Sherrington e Walter Cannon usarono le parole di James, prese alla lettera, per concludere che i loro dati sperimentali erano incompatibili con il meccanismo da lui proposto. Sebbene nessuno dei due avesse ragione – né Sherrington né Cannon –, non si può attribuire a loro tutta la responsabilità di quel fraintendimento.[4]

D'altro canto, la teoria dell'emozione di James è passibile di valide critiche. Egli tralasciò completamente, per esempio, la valutazione dello stimolo e confinò l'aspetto cognitivo dell'emozione alla percezione dello stimolo e dell'attività del corpo. Per James, dapprima vi era la percezione del fatto eccitatorio (che equivale al mio stimolo emozionalmente competente) e poi seguivano direttamente le modificazioni corporee. Noi oggi sappiamo che, sebbene le cose possano effettivamente andare così, dalla rapida percezione all'innesco dell'emozione, vi è tuttavia la tendenza a interporre alcuni passaggi di valutazione: un'operazione che filtra e incanala lo stimolo mentre esso penetra nel cervello e viene infine condotto alla regione innescante. Lo stadio della valutazione può essere brevissimo e non cosciente, ma deve essere riconosciuto. Qui, l'idea di James – di uno stimolo che immancabilmente arriva al pulsante rosso e innesca l'esplosione – diventa una caricatura. Un altro punto, ancor più importante, è che la cognizione generata da uno stato emozionale non è assolutamente confinata – come sosteneva James – alle immagini dello stimolo e delle modificazioni corporee. Negli esseri umani, come abbiamo visto, il programma dell'emozione innesca anche certi cambiamenti cognitivi che si accompagnano a quelli corporei. Noi possiamo considerarli sia come componenti tardive dell'emozione, sia come componenti precoci, relativamente stereotipate, dell'imminente sentimento dell'emozione. Nessuna di queste riserve, comunque, sminuisce in alcun modo lo straordinario contributo di James.

Comincerò con una definizione operativa. I sentimenti delle emozioni sono percezioni composite di 1) un particolare stato del corpo durante un'emozione reale o simulata; e 2) di uno stato di alterazione delle risorse cognitive e di un dispiegamento di certi script mentali. Nella nostra mente, tali percezioni sono connesse all'oggetto che le ha causate.

Una volta chiarito che i sentimenti delle emozioni sono prevalentemente percezioni del nostro stato corporeo durante un'emozione, è ragionevole affermare che essi contengano tutti una variazione sul tema dei sentimenti primordiali, quali che essi siano in quel momento, amplificati da altri aspetti dell'alterazione corporea legati o meno all'enterocezione. Diventa anche ovvio che il substrato di tali sentimenti, a livello cerebrale, dovrebbe essere cercato nelle regioni che producono immagini e più specificamente nelle regioni somatosensoriali di due distretti distinti: il tronco encefalico superiore e la corteccia cerebrale. I sentimenti sono stati della mente che trovano fondamento in un substrato specifico.

A livello della corteccia cerebrale, la regione principale coinvolta nel processo dei sentimenti è la corteccia dell'insula: di dimensioni apprezzabili, essa si trova tuttavia in posizione defilata, sotto gli opercoli frontali e parietali. L'insula – che come suggerisce il nome sembra effettivamente un'isola – presenta diversi giri. La sua porzione anteriore è un'eredità antica legata al senso del gusto e dell'olfatto e, tanto per confondere un poco le cose, costituisce una piattaforma non solo per il processo dei sentimenti, ma anche per innescare alcune emozioni. L'insula è infatti il sito di innesco del *disgusto*: un'emozione importantissima e anche una delle più antiche del repertorio. Il disgusto comparve come mezzo automatico per respingere i cibi potenzialmente tossici, evitando che fossero introdotti nell'organismo.

Gli esseri umani possono essere disgustati non solo dalla vista di cibi guasti e dall'odore e dal sapore rivoltanti che li accompagnano, ma anche da una varietà di situazioni in cui la purezza di oggetti o comportamenti è compromessa e vi è «contaminazione». È importante osservare che gli esseri umani provano disgusto anche quando percepiscono azioni moralmente reprensibili. Di conseguenza, molte azioni contenute nel programma del disgusto umano, comprese le tipiche espressioni facciali, sono state cooptate dal *disprezzo*, che è un'emozione sociale e costituisce spesso una metafora del disgusto morale.

La parte posteriore dell'insula è costituita da neocorteccia evolutivamente recente, mentre la parte centrale ha un'età filogenetica intermedia. È noto da tempo che la corteccia dell'insula è associata alle funzioni dei visceri: essa infatti li rappresenta e partecipa al loro controllo. Insieme alle cortecce somatosensoriali primaria e secondaria (note come SI e SII), l'insula è uno dei siti che generano mappe corporee. In effetti, rispetto ai visceri e al *milieu* interno, l'insula è l'equivalente di una corteccia primaria visiva o uditiva.

Verso la fine degli anni Ottanta, ipotizzai che le cortecce somatosensoriali avessero un ruolo nel processo dei sentimenti, e indicai l'insula come un sito probabilmente coinvolto nella loro genesi. Volevo allontanarmi da quell'idea senza speranza che attribuisce l'origine degli stati del sentire alle regioni che, come le amigdale, guidano l'azione. All'epoca, parlare delle emozioni evocava negli ascoltatori compassione se non proprio derisione, e suggerire che i sentimenti avessero un substrato distinto seminava sconcerto.[5] Dal 2000, però, sappiamo che l'attività dell'insula è in effetti un importante correlato di qualsiasi tipo di sentimento sia dato di immaginare, da quelli associati alle emozioni a quelli corrispondenti a qualsiasi sfumatura di piacere o dolore, indotti da un'ampia gamma di stimoli: per esempio, ascoltare una musica che piace o si detesta; osservare immagini

che piacciono – compreso materiale erotico –, oppure che disgustano; bere vino; fare sesso; alterarsi consumando droghe; interrompere l'assunzione di droghe e sperimentare l'astinenza; eccetera.[6] Di certo l'idea che la corteccia insulare sia un importante substrato per i sentimenti è corretta.

D'altra parte, quando si tratta dei correlati dei sentimenti, l'insula non è assolutamente in grado di spiegare tutto. Quando esperiamo i sentimenti, la corteccia del cingolo anteriore tende ad attivarsi parallelamente all'insula; le due regioni sono strettamente legate, grazie a connessioni reciproche. L'insula ha una duplice funzione – sensoria e motoria –, sia pure con una maggiore inclinazione per il versante sensoriale del processo; il cingolo anteriore opera invece come struttura motoria.[7]

Il fatto più importante, ovviamente, è che (come ho accennato nei due capitoli precedenti) diverse regioni subcorticali hanno un ruolo importante nel costruire gli stati del sentire. All'inizio, regioni come il nucleo del tratto solitario e il nucleo parabrachiale sono state considerate alla stregua di stazioni intermedie per i segnali provenienti dall'interno del corpo, in quanto li trasmettono a un settore dedicato del talamo, che a sua volta li proietta alla corteccia insulare. Come indicato in precedenza, però, considerato lo status particolare di quei nuclei, è probabile che i sentimenti comincino ad affiorare proprio con la loro attività: infatti essi sono i primi, fra quelli che ricevono informazioni dai visceri e dal *milieu* interno, ad avere la capacità di integrare i segnali provenienti da tutto l'interno del corpo; inoltre, nella progressione verso i centri superiori, dal midollo spinale all'encefalo, queste strutture sono le prime in grado di integrare e modulare i segnali riguardanti un paesaggio interno generale – torace e addome, con i loro visceri –, come pure gli aspetti viscerali degli arti e della testa.

Considerate le evidenze analizzate in precedenza, dire che i sentimenti emergono a livello subcorticale è plausibile: la totale compromissione delle cortecce del-

l'insula in presenza di strutture del tronco encefalico intatte è compatibile con un'ampia gamma di stati del sentire; i bambini idroanencefalici, che mancano di cortecce insulari e somatosensoriali di altro tipo ma presentano strutture del tronco encefalico intatte, esibiscono comportamenti che indicano la presenza di tali stati.

Non meno importante, nella generazione dei sentimenti, è un aspetto fisiologico essenziale per il mio quadro generale della mente e del sé, e cioè il fatto che le regioni del cervello implicate nella generazione delle mappe corporee, e pertanto alla base dei sentimenti, siano parte di un circuito risonante con la fonte stessa dei segnali che esse mappano. L'apparato del tronco encefalico superiore deputato alla mappatura del corpo interagisce direttamente con la fonte delle mappe che esso stesso produce, in quella che è una quasi-fusione, molto stretta, fra corpo e cervello. I sentimenti e le emozioni emergono da un sistema fisiologico che non ha paralleli nell'organismo.

Voglio concludere questa sezione ricordando un'altra componente importante degli stati dei sentimenti: tutti i pensieri indotti dall'emozione in corso. Come ho già osservato, alcuni di quei pensieri sono componenti del programma dell'emozione; mentre quest'ultima si dispiega, esse sono evocate in modo che il contesto cognitivo sia in armonia con l'emozione stessa. Altri pensieri, tuttavia, invece di essere componenti stereotipe del programma dell'emozione, sono reazioni cognitive all'emozione in corso, messe in atto successivamente. Le immagini evocate da queste reazioni finiscono per essere parte del percetto del sentimento, insieme a elementi quali la rappresentazione dell'oggetto che ha causato l'emozione, la componente cognitiva del programma dell'emozione stessa, e la lettura percettiva dello stato corporeo.

Essenzialmente vi sono tre modi di generare il sentimento di un'emozione. Il primo e il più ovvio consiste nel far sì che un'emozione modifichi lo stato del corpo. Qualsiasi emozione sortisce in breve questo risultato; l'emozione, infatti, *è* un programma d'azione, e quest'ultima produce una modificazione dello stato del corpo.

Il cervello genera di continuo un substrato per i sentimenti; i segnali riguardanti lo stato del corpo, infatti, sono continuamente riportati, utilizzati e trasformati nei siti di mappatura appropriati. Non appena si sviluppa un'emozione, avviene una serie di cambiamenti specifici; la registrazione di una *variazione* nelle mappe generate in tempo reale nel tronco encefalico e nell'insula dà luogo a una *mappatura del sentimento dell'emozione.* Le mappe così create costituiscono il substrato di un'immagine composita, generata a livello di più siti.[8]

Affinché lo stato del sentire sia connesso all'emozione, l'oggetto causativo e la relazione temporale fra la comparsa di quest'ultimo e la risposta emozionale devono ricevere la giusta attenzione. Ciò è molto diverso da quanto accade nel caso della vista, dell'udito o dell'olfatto. Tali altri sensi sono concentrati sul mondo esterno, e quindi le regioni che creano le rispettive mappe possono, per così dire, cancellare ogni volta la lavagna costruendo un'infinità di configurazioni. Nel caso di siti dedicati alla percezione del corpo – i quali sono obbligatoriamente rivolti verso l'interno e vincolati a ciò che la infinita identità del corpo presenta loro –, la situazione è diversa. Il cervello, che è concentrato sul corpo, è effettivamente prigioniero di quest'ultimo e della sua attività di segnalazione.

Il primo modo per generare i sentimenti, allora, richiede quello che io chiamo «circuito corporeo» o «circuito del corpo». Vi sono tuttavia almeno altri due modi. Uno dipende dal circuito corporeo «come se», introdotto nel capitolo 4. Come indica il nome, si tratta di

una sorta di gioco di prestigio. Le regioni del cervello che inaugurano la normale cascata emozionale possono anche ordinare alle regioni responsabili della mappatura del corpo, come l'insula, di adottare la configurazione che avrebbero assunto nel caso il corpo avesse segnalato loro lo stato emozionale. In altre parole, le regioni innescanti le emozioni ordinano all'insula di procedere e di configurare la sua scarica «come se» stesse ricevendo dei segnali che descrivono lo stato emozionale X. Il vantaggio di questo meccanismo di aggiramento è ovvio. Poiché approntare uno stato emozionale pienamente sviluppato richiede una considerevole quantità di tempo e consuma moltissima energia preziosa, perché non andare subito al sodo? Senza dubbio questa possibilità emerse nel cervello sia in considerazione del risparmio di tempo ed energia, sia perché i cervelli intelligenti sono anche estremamente pigri. Ogni volta che possono fare qualcosa di meno, invece che qualcosa di più, colgono l'occasione, seguendo questa filosofia minimalista quasi fosse una religione.

Vi è solo un inconveniente con il meccanismo «come se». Al pari di qualsiasi altra simulazione, non è una replica esatta della realtà. Io credo che gli stati «come se» siano comunissimi in tutti noi e certamente riducono i costi imposti dalla nostra vita emozionale; tuttavia, sono solo versioni attenuate delle emozioni effettivamente innescate dal circuito del corpo. Le configurazioni «come se» non possono essere avvertite come gli stati riconducibili al circuito del corpo in primo luogo perché si tratta di simulazioni, e non della realtà; e in secondo luogo perché probabilmente, rispetto agli stati generati dal normale circuito del corpo, le configurazioni «come se», essendo più deboli, hanno maggiori difficoltà a competere con le configurazioni corporee in corso.

L'altro modo di costruire gli stati del sentire consiste nell'alterare la trasmissione dei segnali inviati dal corpo al cervello. In seguito all'azione degli analgesici naturali o alla somministrazione di farmaci (antidolorifici, ane-

stetici) che interferiscono con i segnali provenienti dal corpo, il cervello riceve una visione distorta di quello che è il suo stato reale in quel momento preciso. Sappiamo che nelle situazioni di paura in cui il cervello sceglie l'opzione della fuga invece dell'immobilizzazione, il tronco encefalico disattiva parte dei circuiti dedicati alla trasmissione del dolore: un po' come se staccasse la spina del telefono. Il grigio periacqueduttale, che controlla queste risposte, può anche ordinare la secrezione di oppioidi naturali, ottenendo esattamente lo stesso risultato che si avrebbe somministrando un analgesico: l'eliminazione dei segnali del dolore.

In senso stretto, qui abbiamo a che fare con un'*allucinazione*, perché ciò che è registrato dal cervello nelle sue mappe e ciò che è sentito dalla mente cosciente non corrispondono alla realtà del corpo che potrebbe essere percepita. Ogniqualvolta ingeriamo sostanze che hanno il potere di modificare la trasmissione o la mappatura dei segnali provenienti dal corpo, facciamo leva su tale meccanismo. L'alcol fa proprio questo; e altrettanto vale per gli analgesici e gli anestetici, come pure per le numerosissime droghe d'abuso. Oltre che per curiosità, è chiaro che gli esseri umani sono attirati da queste sostanze perché desiderano procurarsi sensazioni di benessere in cui i segnali del dolore vengano cancellati e siano invece indotti segnali del piacere.

IL FATTORE TEMPO NELLE EMOZIONI E NEI SENTIMENTI

In alcuni studi recenti, il mio collega David Rudrauf ha indagato l'andamento temporale delle emozioni e dei sentimenti nel cervello umano usando la magnetoencefalografia:[9] di gran lunga meno precisa della risonanza magnetica funzionale in termini di localizzazione spaziale dell'attività cerebrale, la magnetoencefalogra-

fia ha tuttavia una notevole capacità di stimare il tempo impiegato da certi processi all'interno di distretti ragionevolmente estesi del cervello. In tali studi ci siamo serviti di questo approccio proprio per indagare l'aspetto temporale.

Scrutando all'interno del cervello, Rudrauf ha seguito nel tempo l'attività associata alle reazioni – emozioni e sentimenti – indotte da stimoli visivi piacevoli e spiacevoli. Dal momento in cui gli stimoli erano elaborati nelle cortecce visive fino a quello in cui i soggetti riferivano l'affiorare dei sentimenti, passavano quasi cinquecento millisecondi, ossia mezzo secondo: molto o poco? Dipende dalla prospettiva: in termini di «tempo cerebrale» si tratta di un intervallo enorme, se si pensa che un neurone può scaricare in circa cinque millisecondi; in termini di «tempo della mente cosciente», però, non è molto. Esso si colloca fra i circa duecento millisecondi necessari per avere coscienza di una configurazione a livello percettivo, e i sette-ottocento millisecondi che occorrono per elaborare un concetto. Oltre la soglia dei cinquecento millisecondi, tuttavia, i sentimenti possono durare secondi o minuti – ovviamente reiterati in un qualche tipo di riverbero –, soprattutto se sono sentimenti con la «s» maiuscola.

LE VARIETÀ DELL'EMOZIONE

I tentativi di descrivere la gamma completa delle emozioni umane o di classificarle non sono particolarmente interessanti. I criteri usati per le classificazioni tradizionali lasciano a desiderare e ogni repertorio di emozioni può essere criticato perché ne trascura alcune mentre altre vi sono rappresentate troppo generosamente. Una vaga regola empirica suggerisce che dovremmo riservare il termine «emozione» a un programma d'azione ragionevolmente complesso (che includa più di una o due

risposte simili a riflessi) innescato da un oggetto o un evento identificabile (uno stimolo emozionalmente competente). In genere si ritiene che le cosiddette emozioni universali (paura, rabbia, tristezza, felicità, disgusto e sorpresa) soddisfino quei criteri. Comunque sia, queste emozioni sono certamente presenti in tutte le culture e sono facilmente riconosciute perché una parte del loro programma d'azione – le espressioni facciali – è del tutto caratteristica. Tali emozioni sono presenti perfino nelle culture in cui mancano le parole per nominarle. Siamo debitori a Charles Darwin per il primo riconoscimento di questa universalità, non solo negli esseri umani, ma anche negli animali.

L'universalità delle espressioni delle emozioni rivela in quale misura il loro programma di azione sia automatizzato e indipendente dall'apprendimento. Ogni volta che viene eseguita, l'emozione può essere modulata, per esempio, con piccoli cambiamenti dell'intensità o della durata dei movimenti componenti. La routine del programma fondamentale, tuttavia, è stereotipata a tutti i livelli corporei coinvolti nell'esecuzione: movimenti esterni; alterazioni viscerali che interessano cuore, polmoni, intestino e cute; e modificazioni endocrine. L'esecuzione della stessa emozione può variare da un'occasione all'altra ma non abbastanza da renderla irriconoscibile al soggetto o ad altri individui. Essa varia nella stessa misura in cui *Summertime* di Gershwin può cambiare se eseguita da interpreti diversi, o anche dallo stesso interprete in occasioni diverse. L'emozione è ancora perfettamente identificabile perché il profilo generale del comportamento viene conservato.

Il fatto che le emozioni siano programmi di azione non appresi, automatici e prevedibilmente stabili svela la loro origine dalla selezione naturale e dalle risultanti istruzioni contenute nel genoma. In larghissima misura, queste istruzioni sono state conservate nell'evoluzione e sono responsabili della costruzione del cervello in modo specifico e affidabile, così che alcuni circuiti neuronali

possano elaborare stimoli emozionalmente competenti e indurre le regioni cerebrali che scatenano le emozioni ad attuare risposte emozionali complete. Le emozioni, e i fenomeni a esse sottesi, sono talmente essenziali per il mantenimento della vita e per la successiva maturazione dell'individuo che vengono dispiegate in modo ripetibile già nelle fasi precoci dello sviluppo.

Il fatto che le emozioni siano automatiche, non apprese, e stabilite dal genoma solleva sempre lo spettro del determinismo genetico. Non vi è dunque nulla di personale ed educabile nelle emozioni? In realtà, vi è moltissimo. Nel cervello normale, il meccanismo essenziale delle emozioni è molto simile da un individuo all'altro; il che è una buona cosa, perché fornisce all'umanità – nelle diverse culture – una base comune di preferenze fondamentali in relazione al dolore e al piacere. Ma se da un lato i meccanismi sono senz'altro simili, dall'altro, con ogni probabilità, le circostanze in cui alcuni stimoli sono diventati emozionalmente competenti non saranno le stesse da un individuo all'altro. Esistono cose che alcuni temono e altri no; cose che alcuni amano e altri no; e molte, moltissime cose che tutti noi temiamo e amiamo. In altre parole, le risposte emozionali nei confronti dello stimolo causativo sono considerevolmente personalizzate. A questo riguardo, noi siamo molto simili ma non identici. E vi sono anche altri aspetti in questa individualità: influenzati dalla cultura in cui siamo cresciuti, o per effetto della nostra educazione personale, siamo in grado – in parte – di controllare le espressioni delle nostre emozioni. Tutti noi sappiamo come l'esibizione pubblica del riso o del pianto sia differente nelle diverse culture e come essi siano modulati anche all'interno dei membri di specifiche classi sociali. Le espressioni emozionali si somigliano, ma non sono uguali. Possono essere modulate così da essere rese distintamente personali, oppure indicative dell'appartenenza a un gruppo sociale.

Non vi è dubbio che le espressioni delle emozioni pos-

sono essere modulate volontariamente. È chiaro, però, che il controllo esercitato attraverso la modulazione non può spingersi oltre le loro manifestazioni esteriori. Poiché le emozioni comprendono numerose altre risposte – molte delle quali sono interne e quindi invisibili a occhio nudo agli altri –, gran parte del programma emozionale viene comunque eseguita a prescindere da quanta forza di volontà noi applichiamo per inibirla. È molto importante osservare che i sentimenti delle emozioni, risultanti dalla percezione dell'insieme dei cambiamenti indotti dalle emozioni stesse, hanno luogo comunque: anche quando l'espressione esterna dell'emozione è in parte inibita. L'emozione e il sentimento hanno due volti, e questo è coerente con i loro meccanismi fisiologici molto diversi. Quando incontriamo un tipo stoico che rimane impassibile di fronte a una notizia tragica, non dobbiamo dare per scontato che non stia provando dolore o paura. Un antico adagio portoghese coglie bene questa verità: « Chi vede il volto non vede il cuore ».[10]

CIME E ABISSI NEL PAESAGGIO DELLE EMOZIONI

Oltre alle emozioni universali, meritano di essere sottolineate quelle appartenenti ad altri due gruppi riconosciuti. Anni fa richiamai l'attenzione sulle emozioni di uno dei due, denominandole « emozioni di fondo ». Alcuni esempi sono l'*entusiasmo* e lo *scoraggiamento,* che possono essere indotti sia da diverse circostanze contingenti, sia da stati interni, come la malattia e l'affaticamento. Nel caso delle emozioni di fondo, ancora più che in quello delle altre, lo stimolo competente può operare in modo nascosto e innescarle senza che il soggetto ne sia consapevole. Riflettere su una situazione già verificatasi, oppure considerarne una meramente possibile, può innescare emozioni di questo genere. I risultanti « sentimenti di fondo » non distano che un piccolo

passo dai sentimenti primordiali. Le emozioni di fondo sono parenti strette degli umori, ma ne differiscono per il profilo temporale più limitato e perché sono riconducibili in modo più netto allo stimolo.

L'altro gruppo importante è quello delle emozioni sociali. Il nome è un po' curioso, poiché tutte le emozioni possono essere sociali e spesso lo sono; tuttavia, la denominazione è legittima se si pensa allo scenario, inequivocabilmente sociale, in cui hanno luogo questi particolari fenomeni. Qualche esempio delle principali emozioni sociali giustificherà facilmente il termine: *compassione, imbarazzo, vergogna, senso di colpa, disprezzo, gelosia, invidia, orgoglio, ammirazione.* Queste emozioni sono effettivamente innescate in contesti sociali, e hanno di certo un ruolo prominente nella vita dei gruppi. Da un punto di vista fisiologico, il funzionamento delle emozioni sociali non è in alcun modo diverso da quello di tutte le altre. Esse necessitano di uno stimolo emozionalmente competente; dipendono da specifici siti cerebrali capaci di innescarle; sono costituite da programmi di azione elaborati che coinvolgono il corpo; e sono percepite dal soggetto sotto forma di sentimenti. Vi sono tuttavia alcune differenze degne di nota. La maggior parte delle emozioni sociali è evolutivamente recente, ed è probabile che alcune di esse siano appannaggio esclusivo degli esseri umani. Sembra che questo sia il caso dell'ammirazione e di quella varietà della compassione che si concentra sul dolore altrui non di natura fisica, ma mentale e sociale. Molte specie, in particolare i primati e le grandi antropomorfe, presentano i precursori di qualche emozione sociale. La compassione per le difficoltà fisiche in cui versa l'altro, l'imbarazzo, l'invidia e l'orgoglio sono alcuni buoni esempi. Di sicuro le scimmie cappuccine paiono reagire alle ingiustizie percepite. Le emozioni sociali comprendono un certo numero di princìpi morali e costituiscono un naturale fondamento dei sistemi etici.[11]

Le azioni e gli oggetti che ammiriamo, così come le nostre reazioni nei confronti di chi è responsabile di quelle azioni e di quegli oggetti, definiscono la qualità di una cultura. Senza appropriate ricompense, i comportamenti ammirevoli hanno una minore probabilità di essere emulati. Lo stesso vale per la compassione. Nella vita quotidiana abbondano situazioni difficili di ogni genere, e nel caso in cui gli individui non si comportino compassionevolmente verso coloro che le affrontano, le prospettive di una società sana diminuiscono enormemente. Se dev'essere emulata, la compassione va ricompensata.

Che cosa accade nel cervello quando proviamo ammirazione o compassione? I processi cerebrali corrispondenti a queste emozioni e a questi sentimenti hanno qualche somiglianza con quelli che abbiamo identificato nel caso di emozioni più fondamentali come la paura, la felicità e la tristezza? Oppure sono diverse? Le emozioni sociali sembrano così dipendenti dall'ambiente in cui l'individuo si sviluppa, così legate ai fattori culturali, che possono sembrare null'altro che un sottile strato di vernice cognitiva applicato alla superficie del cervello. È anche importante esaminare il modo in cui l'elaborazione di tali emozioni e di tali sentimenti – che chiaramente chiama in causa il sé dell'osservatore – coinvolge o non coinvolge le strutture cerebrali che abbiamo cominciato ad associare agli stati del sé.

Decisi di rispondere a questi interrogativi insieme a Hanna Damasio e Mary Helen Immordino-Yang, la quale nutre un profondo interesse per l'unione fra neuroscienze e aspetti culturali, e proprio per questo motivo era molto attratta dal problema. Progettammo uno studio in cui, avvalendoci delle tecniche di risonanza magnetica funzionale, avremmo indagato in che modo una storia possa indurre, in esseri umani normali, sentimenti di ammirazione o di compassione. Volevamo suscitare

tali risposte, evocandole con certi tipi di comportamento presentati sotto forma di narrazione. Non ci interessava che i nostri soggetti sperimentali riconoscessero l'ammirazione o la compassione quando la osservavano in qualcun altro. Volevamo che fossero loro stessi a *sperimentare* quelle emozioni. Fin dal principio sapevamo che ci interessavano almeno quattro scenari distinti, due per l'ammirazione e due per la compassione. Nel primo caso gli scenari erano l'ammirazione per atti virtuosi (per esempio un grande atto di generosità) o l'ammirazione per atti di virtuosismo (per esempio prestazioni atletiche impressionanti o straordinarie esecuzioni musicali di solisti). Gli scenari della compassione, d'altro canto, comprendevano quella per il dolore fisico (rivolta, per esempio, alla sfortunata vittima di un incidente stradale) e quella per chi versa in situazioni difficili sul piano psicologico e sociale (rivolta verso chi ha perso la casa in un incendio o la persona amata a causa di una malattia di cui non sa farsi una ragione).

Il contrasto era sempre molto chiaro, soprattutto nel momento in cui Mary Helen diede prova di creatività mettendo insieme alcune storie reali e un metodo efficace per somministrarle ai volontari in un esperimento con tecniche di immagine funzionale.[12]

Verificammo tre ipotesi. La prima aveva a che fare con le regioni coinvolte nell'ammirazione e nella compassione. Il risultato dell'esperimento fu inequivocabile: le regioni coinvolte erano, in linea di massima, le stesse interessate dalle emozioni elementari cosiddette comuni. In tutti gli scenari, vi era una notevole attivazione dell'insula, nonché della corteccia anteriore del cingolo; come previsto, erano coinvolte anche le regioni del tronco encefalico superiore.

Di certo questo risultato smentiva l'idea secondo cui, rispetto alle emozioni fondamentali, quelle sociali non avrebbero coinvolto nella stessa misura l'apparato della regolazione dei processi vitali. L'interessamento cerebrale era molto intenso, in linea con il fatto che le nostre

esperienze di queste emozioni sono profondamente segnate da eventi fisici. Le ricerche comportamentali di Jonathan Haidt sull'elaborazione di emozioni sociali simili rivela molto chiaramente come, in tali situazioni, sia coinvolto il corpo.[13]

La seconda ipotesi che abbiamo verificato riguardava il tema centrale di questo libro: il sé e la coscienza. Abbiamo scoperto che «sentire» queste emozioni impegnava la corteccia posteromediale (CPM), una regione che noi crediamo coinvolta nella costruzione del sé. Questo ben si accorda con il fatto che, per reagire a una qualsiasi delle storie usate come stimoli, il soggetto doveva diventare a tutti gli effetti spettatore e giudice della situazione; nel caso della compassione, occorreva che provasse empatia in modo completo con la difficile situazione in cui versava il protagonista, e nel caso dell'ammirazione che fosse un potenziale futuro emulatore dell'azione ammirevole del protagonista.

Abbiamo poi scoperto anche qualcosa che non avevamo previsto: la parte della CPM più attiva nelle situazioni di ammirazione e compassione, rispettivamente per le capacità fisiche e per il dolore fisico, era ben distinta da quella maggiormente coinvolta nell'ammirazione per azioni virtuose e nella compassione per la sofferenza psicologica. La distinzione era evidentissima, al punto che la configurazione di attivazione della CPM corrispondente a una coppia di emozioni si incastrava – letteralmente – in quella corrispondente alle altre due, proprio come i pezzi di un puzzle.

L'aspetto condiviso da una coppia di scenari – capacità e dolore di natura fisica – era il coinvolgimento del corpo nei suoi aspetti proiettati all'esterno, concentrati sull'azione. L'aspetto condiviso dall'altra coppia di scenari – sofferenza psicologica e ammirazione per l'atto virtuoso – era uno stato mentale. Il risultato ottenuto ci mostrò che il cervello aveva riconosciuto questi aspetti condivisi – stati fisici in un caso e mentali nell'altro –, e aveva prestato loro un'attenzione di gran lunga maggio-

re che non alla elementare contrapposizione fra ammirazione e compassione.

La probabile spiegazione di questo affascinante risultato proviene dal diverso legame che – nel cervello di ciascun soggetto – le due parti della CPM intrattengono nei confronti del corpo. Un settore ha a che fare con aspetti muscoloscheletrici, l'altro con il *milieu* interno e con i visceri. Il lettore attento probabilmente avrà indovinato la regione corrispondente a ciascuno scenario. L'aspetto della fisicità (capacità/dolore a livello fisico) è riconducibile alla componente legata all'attività muscoloscheletrica. L'aspetto mentale (sofferenza psicologica/atto virtuoso) è riconducibile al *milieu* interno e ai visceri. Come si potrebbe immaginare qualcosa di diverso?

Vi era poi un'altra ipotesi, e un ulteriore risultato degno di nota. Abbiamo ipotizzato che, nel cervello, la compassione per il dolore fisico, essendo una risposta cerebrale più antica e chiaramente presente in diverse specie non umane, dovesse essere elaborata più rapidamente di quella per la sofferenza psicologica: una cosa che richiede l'elaborazione più complicata di un disagio meno immediatamente ovvio, e che con buona probabilità implica una conoscenza di più ampia portata.

I risultati hanno confermato l'ipotesi. Nella corteccia dell'insula, la compassione per il dolore fisico evoca risposte più veloci rispetto alla compassione per la sofferenza psicologica. Le reazioni al dolore fisico sono più rapide non soltanto ad affiorare, ma anche a estinguersi. Le risposte alla sofferenza psicologica, invece, impiegano più tempo sia per instaurarsi, sia per scomparire.

Nonostante la natura preliminare di questo studio, abbiamo avuto una prima idea di come il cervello elabori l'ammirazione e la compassione. Com'era prevedibile, la fonte di questi processi interessa profondamente tanto il cervello quanto la carne. Tali processi – anche questo era prevedibile – sono fortemente influenzati dall'esperienza individuale. Verissimo, in tutto e per tutto: e dovrebbe essere così per tutte le emozioni.

6
UN'ARCHITETTURA PER LA MEMORIA

IN QUALCHE MODO, DA QUALCHE PARTE

«Chi di noi d'ora innanzi, vedendo partire un treno, non udrà degli spari?»[1] chiede ai suoi amici Dick Diver, il protagonista di *Tenera è la notte* di Scott Fitzgerald, mentre stanno tutti salutando uno di loro, Abe North. A Parigi, una mattina, Diver e compagni hanno appena assistito a qualcosa di inatteso: una giovane donna disperata ha estratto dalla borsetta un piccolo revolver di madreperla e ha sparato al suo amante mentre il treno in partenza usciva fischiando dalla Gare Saint Lazare.

La domanda posta da Diver ci ricorda in modo suggestivo la stupefacente abilità del nostro cervello di apprendere informazioni composite e di riprodurle in seguito con una considerevole fedeltà e da molte prospettive diverse, a prescindere dal fatto che lo si voglia oppure no. D'ora in poi, ogni volta che metteranno piede in una stazione ferroviaria, Diver e i suoi amici *udiranno* sempre, nella loro mente, spari immaginari, in un'approssimazione vaga ma comunque riconoscibile dei suoni sentiti quella mattina: un involontario tentativo di riprodurre le immagini uditive esperite allora. E poiché il ricordo composito degli eventi può essere rievocato attraverso la rappresentazione di qualsiasi loro parte com-

ponente, probabilmente Diver e gli altri udiranno gli spari anche quando qualcuno, in un qualsiasi scenario, si limiterà a menzionare un treno che parte, e non solo quando effettivamente ne vedranno uno uscire da una stazione; e forse li sentiranno anche quando qualcuno accennerà a Abe North (si trovavano là per lui) o alla Gare Saint Lazare (il luogo in cui avviene l'episodio). Questo è anche ciò che accade a chi è stato in una zona di guerra e rivive all'infinito, in tormentosi quanto indesiderati flashback, le scene visive e i suoni della battaglia. La sindrome post-traumatica da stress non è altro che lo sgradevole effetto collaterale di una capacità altrimenti meravigliosa.

Il fatto che, come nel caso di Diver, l'evento da ricordare abbia una sua prominenza emozionale – cioè interferisca con la misura del valore – in genere aiuta. Il cervello memorizzerà scene visive, uditive, tattili, sensazioni, odori e simili, purché esse abbiano un qualche valore e purché al momento fossero sufficientemente permeate di emozione, e le richiamerà al momento giusto. In seguito, l'immagine rievocata potrebbe farsi indistinta. Con il passare del tempo e grazie all'immaginazione di un narratore, il materiale può essere elaborato, fatto a pezzi e ricombinato, dando luogo a un romanzo o a una sceneggiatura. A poco a poco, quelle che erano iniziate come immagini filmiche non verbali possono anche trasformarsi in una descrizione verbale frammentaria, ricordata per le parole del racconto non meno che per i suoi elementi visivi e uditivi.

Consideriamo ora quanto sia meravigliosa questa capacità di ricordare e pensiamo alle risorse che il cervello deve possedere per metterla in campo. In qualche modo, da qualche parte, il cervello – oltre alle immagini percettive riconducibili ai vari domini sensoriali – deve poter archiviare le rispettive configurazioni; in qualche modo, da qualche parte, esso deve anche conservare una *via* per recuperarle, affinché in qualche modo, da qualche parte, il tentativo di riproduzione funzioni. Nel

momento in cui accade tutto questo, e in presenza del dono ulteriore del sé, noi *sappiamo* che stiamo ricordando qualcosa.

La capacità di manipolare il mondo complesso intorno a noi dipende da questa facoltà di apprendere e ricordare: noi riconosciamo persone e luoghi solo perché registriamo le loro sembianze e poi, al momento opportuno, rievochiamo parte di quelle registrazioni. Anche la nostra abilità di immaginare gli eventi possibili dipende dall'apprendimento e dalla memoria, ed è alla base sia del ragionamento e dell'esplorazione del futuro, sia, più in generale, della creazione di nuove soluzioni per un dato problema. Se vogliamo capire come tutto questo accada, dobbiamo scoprire, nel cervello, i segreti del «come» e localizzare il «dove». Oggi questo è uno dei nodi intricati che le neuroscienze si trovano a dover sciogliere.

L'approccio al problema dell'apprendimento e della memoria dipende dal livello funzionale che decidiamo di studiare. La nostra comprensione di che cosa occorra, a livello di neuroni e piccoli circuiti, affinché il cervello apprenda, è sempre più profonda. A fini pratici, sappiamo come apprendono le sinapsi, e conosciamo perfino alcune delle molecole e dei meccanismi di espressione genica implicati nell'apprendimento a livello dei microcircuiti.[2] Sappiamo anche che alcune parti specifiche del cervello hanno un ruolo fondamentale nell'apprendimento di tipi diversi di informazione: da un lato vi sono oggetti come facce, luoghi o parole; dall'altro, i movimenti.[3] Prima che i meccanismi del «come» e del «dove» possano essere del tutto chiariti, rimane però da rispondere ancora a molte domande. Lo scopo, qui, è di tratteggiare uno schizzo dell'architettura del cervello, che possa dare un ulteriore contributo al chiarimento del problema.

Il cervello registra entità – il loro aspetto, i suoni che producono e il modo in cui agiscono – e le preserva per successive rievocazioni. Fa altrettanto anche per gli eventi. Di solito si dà per scontato che il cervello sia un supporto di registrazione passivo – come una pellicola –, sul quale sia possibile mappare fedelmente le caratteristiche di un oggetto, così come vengono analizzate dai rilevatori sensoriali. Se l'occhio è la macchina fotografica innocente e passiva, il cervello è la celluloide vergine, anch'essa passiva. Questa, però, è fantasia bella e buona.

L'organismo (il corpo e il suo cervello) interagisce con gli oggetti, e il cervello reagisce all'interazione. Invece di registrare la struttura di un'entità, il cervello in realtà *registra le molteplici conseguenze delle interazioni fra l'organismo e l'entità.* Ciò che noi memorizziamo del nostro incontro con un dato oggetto non è soltanto la sua struttura visiva, mappata nelle immagini ottiche della retina. Occorrono infatti anche i seguenti elementi: in primo luogo, le configurazioni sensomotorie associate alla vista dell'oggetto (per esempio i movimenti degli occhi e del collo, o anche del corpo nel suo complesso, se applicabile nel caso specifico); in secondo luogo, la configurazione sensomotoria associata al tatto e alla manipolazione dell'oggetto (se applicabile nel caso specifico); in terzo luogo, la configurazione sensomotoria risultante dall'evocazione di ricordi, acquisiti in precedenza, attinenti all'oggetto; e, infine, le configurazioni sensomotorie legate all'innesco di emozioni e sentimenti relativi all'oggetto.

Quello che normalmente chiamiamo «ricordo dell'oggetto» è il *ricordo composito delle attività sensoriali e motorie legate all'interazione fra l'organismo e l'oggetto,* nell'arco di un certo periodo di tempo. La gamma delle attività sensomotorie – come pure la loro memorizzazione – varia a seconda del valore dell'oggetto e delle circostanze. I ricordi di certi oggetti sono governati dal fatto che in

passato abbiamo conosciuto oggetti simili o situazioni simili a quelli che stiamo sperimentando. In altre parole, i nostri ricordi sono soggetti a *pregiudizio*, qui inteso nell'accezione piena del termine: il pregiudizio derivante dalla nostra storia passata e dalle nostre convinzioni. Quello di una memoria perfettamente fedele è un mito, applicabile solo a oggetti banali. L'idea che il cervello possa mai trattenere qualcosa di simile a un «ricordo isolato dell'oggetto» appare insostenibile. Il cervello conserva un ricordo di quanto è accaduto nel corso di un'interazione: una parte importante di quest'ultima comprende il nostro passato e spesso anche il passato della specie biologica e della cultura cui apparteniamo.

Il fatto che la percezione abbia luogo grazie al coinvolgimento, e non mediante una ricettività passiva, è il segreto alla base dell'«effetto proustiano»: la ragione per cui spesso ricordiamo non soltanto gli oggetti isolati, ma anche il loro contesto. D'altra parte, questo fatto è rilevante anche per comprendere il modo in cui la coscienza emerge.

PRIMA LE DISPOSIZIONI, POI LE MAPPE

La caratteristica delle mappe cerebrali è la connessione relativamente trasparente, in esse, fra la cosa rappresentata – forma, movimento, colore, suono – e i contenuti della mappa stessa. All'interno di quest'ultima, la configurazione presenta una qualche inequivocabile corrispondenza con l'oggetto rappresentato. In teoria, un osservatore intelligente, che nel corso dei suoi vagabondaggi scientifici potesse imbattersi nella mappa, indovinerebbe immediatamente quello che si suppone essa rappresenti. Noi sappiamo che questo non è ancora possibile, sebbene le nuove tecniche di neuroimmagine stiano facendo significativi passi avanti in questa direzione. Negli studi su esseri umani condotti con la risonanza

magnetica funzionale (fMRI), l'analisi multivariata dimostra la presenza di specifiche configurazioni di attività cerebrale associate a determinati oggetti visti o uditi dal soggetto. In uno studio recente condotto dal nostro gruppo (Meyer *et al.*, 2010, citato nel cap. 3), siamo stati in grado di rilevare, nella corteccia uditiva, configurazioni corrispondenti a quello che i soggetti udivano con l'« orecchio della mente » (senza che in realtà udissero alcun suono). Questi risultati sono una risposta diretta all'interrogativo posto da Dick Diver.

Lo sviluppo biologico delle mappe e la sua diretta conseguenza – le immagini e la mente – rappresentano, nell'evoluzione, una transizione a cui non viene dato sufficiente risalto. *Transizione da che cosa?* potreste chiedere legittimamente. Da una modalità di rappresentazione neurale che aveva una scarsa connessione esplicita con la cosa rappresentata. Farò un esempio. In primo luogo, immaginiamo che un organismo sia colpito da un oggetto e che, a quel contatto, un gruppo di neuroni risponda scaricando. L'oggetto potrebbe essere appuntito o smussato, grande o piccolo, qualcosa che stava in mano o che era in movimento, fatto di plastica, di acciaio o anche di carne viva. Tutto quello che conta è che esso *colpisce* l'organismo su una parte della sua superficie, e che a quel punto un gruppo di neuroni risponde alla collisione attivandosi, senza rappresentare effettivamente le proprietà dell'oggetto. Ora immaginiamo un altro gruppo di neuroni che scarichi dopo aver ricevuto un segnale dal primo, e che faccia quindi spostare l'organismo dalla sua posizione stazionaria. Nessuno dei due gruppi di neuroni ha rappresentato *dove* si trovasse originariamente l'organismo, né *dove* fosse opportuno che si fermasse, e nessuno dei due gruppi ha rappresentato le *proprietà fisiche* dell'oggetto. Quello che serviva, qui, era il rilevamento della collisione, un dispositivo di comando, e la capacità di muoversi. Tutto qui. Questi gruppi di neuroni cerebrali non sembrano aver rappresentato mappe, ma piuttosto *disposizioni*, ossia formule

contenenti un know-how e codificanti qualcosa come: se vieni colpito da una parte, muoviti nella direzione opposta per un numero X di secondi, indipendentemente dall'oggetto che ti colpisce o dal luogo in cui ti trovi.

Nel corso dell'evoluzione, per un lungo, lunghissimo tempo, i cervelli hanno operato sulla base di queste disposizioni, e negli ambienti adatti, alcuni degli organismi così attrezzati se la cavavano perfettamente. Il sistema delle disposizioni produsse ottimi risultati e divenne sempre più complicato, realizzando risultati di portata sempre maggiore. Tuttavia, quando si presentò la possibilità delle mappe, gli organismi poterono spingersi oltre le rigide reazioni stereotipe e rispondere invece in base all'informazione più ricca messa ora a disposizione dalla novità. La qualità della gestione migliorò di conseguenza: invece di essere generiche, le risposte si adattarono agli oggetti e alle situazioni, e alla fine acquistarono anche maggior precisione. In seguito, i sistemi disposizionali, che non generavano mappe, unirono le proprie forze a quelli che invece le creavano, e non appena ciò avvenne gli organismi ottennero una flessibilità di gestione ancora maggiore.

L'aspetto affascinante è che il cervello non si liberò del suo sistema già collaudato (le disposizioni) a favore della nuova invenzione (le mappe e le loro immagini). La natura mantenne entrambi i sistemi in funzione e a pieno ritmo: li unì e li fece lavorare in sinergia. Quale conseguenza della combinazione, il cervello si arricchì: in altre parole, divenne il tipo di cervello che gli esseri umani ricevono in dotazione alla nascita.

Ogni volta che percepiamo il mondo, apprendiamo informazioni su di esso, ricordiamo quello che abbiamo appreso e manipoliamo in modo creativo l'informazione, noi umani presentiamo l'esempio più complicato di quella modalità di operazione ibrida e sinergica. Dalle molte specie che ci hanno preceduti, abbiamo ereditato un ricco sistema di disposizioni responsabile del funzionamento dei fondamentali meccanismi di gestione dei

processi vitali. Queste reti includono i nuclei che controllano il nostro sistema endocrino e quelli preposti ai meccanismi di ricompensa e punizione, come pure all'innesco e all'esecuzione delle emozioni. In una felice innovazione, le reti disposizionali sono state messe in contatto con molti sistemi di mappe dedicate alla creazione di immagini del mondo interno ed esterno all'organismo. Ecco dunque che i fondamentali meccanismi di gestione dei processi vitali influenzano il funzionamento delle regioni corticali che creano le mappe. Per come la vedo io, d'altra parte, la novità non si ferma qui, e il cervello dei mammiferi si spinse un passo oltre.

Quando decise di creare archivi prodigiosamente vasti di immagini registrate, per risolvere il problema logistico della mancanza di spazio, il cervello degli esseri umani prese a prestito la strategia delle disposizioni. In questo modo, si ritrovò, per così dire, con la botte piena e la moglie ubriaca: riuscì a contenere numerose informazioni in uno spazio limitato, conservando la capacità di richiamarle rapidamente e con una fedeltà notevole. Noi esseri umani, e i mammiferi in genere, non abbiamo mai dovuto fissare su microfilm un gran numero di immagini diverse, conservandole in archivi permanenti: semplicemente, abbiamo memorizzato una formula agile per ricostruirle e abbiamo usato i meccanismi percettivi già esistenti per riassemblarle nel modo migliore possibile. Siamo sempre stati postmoderni.

LA MEMORIA AL LAVORO

Qui sta il problema, allora. Oltre a creare rappresentazioni mappate che danno luogo a immagini percettive, il cervello riesce a mettere a segno un'impresa non meno straordinaria: da un lato, registra nella memoria le mappe sensoriali, dall'altro riproduce, approssimandolo, il loro contenuto originale. Questo processo è no-

to come *recall* [lett. «richiamo alla memoria, rievocazione»]. Ricordare una persona o un evento, come pure raccontare una storia, sono operazioni che necessitano del *recall*; riconoscere oggetti e situazioni intorno a noi richiede, ancora una volta, il *recall*; lo stesso vale per il pensiero su oggetti con i quali abbiamo interagito in passato e su eventi che abbiamo percepito, e si applica anche, infine, a tutto il processo immaginativo grazie al quale programmiamo il futuro.

Se dobbiamo capire come funziona la memoria, dobbiamo comprendere come – e dove – il cervello registri in forma stabile una mappa. Crea forse un facsimile dell'oggetto da memorizzare, una specie di *hard copy* archiviata in un *file*? Oppure riduce l'immagine a un codice – per così dire, la digitalizza? Quale codice? Come? Dove?

Vi è poi un'altra questione essenziale riguardante il *dove*: durante la rievocazione, dove viene riprodotta la registrazione al fine di recuperare le proprietà essenziali dell'immagine originale? Quando Dick Diver sentirà nuovamente gli spari, dove saranno riprodotti quei suoni nel suo cervello? Quando pensiamo a un amico che abbiamo perduto, o a una casa in cui abbiamo vissuto, noi componiamo un insieme di immagini di quelle entità. Le immagini richiamate alla memoria sono meno intense dell'oggetto reale o di una fotografia; tuttavia possono conservare le proprietà fondamentali dell'originale, al punto che un geniale studioso di neuroscienze cognitive, Steve Kosslyn, è riuscito a stimare le dimensioni relative di un oggetto richiamato alla memoria e ispezionato nella mente.[4] Dove vengono ricostruite le immagini, affinché noi possiamo studiarle nella nostra reminiscenza?

Le risposte («assunti» sarebbe tuttavia un termine migliore) date tradizionalmente a questa domanda si ispirano a una descrizione convenzionale della percezione sensoriale. Grazie ad apposite vie cerebrali, le diverse cortecce sensoriali di ordine inferiore (in larga misura

localizzate posteriormente nel cervello) proiettano le varie componenti dell'informazione percettiva alle cosiddette cortecce multimodali (in larga misura localizzate anteriormente), le quali procedono alla loro integrazione. La percezione opererebbe dunque sulla base di una cascata di processori a senso unico: una sequenza che estrarrebbe, un passo dopo l'altro, segnali sempre più raffinati, dapprima nelle cortecce sensoriali di una singola modalità (per esempio quella visiva), e in seguito nelle cortecce multimodali, che ricevono segnali da più di un canale sensoriale (per esempio visivo, uditivo e somatico). In generale, la cascata seguirebbe una direzione caudo-rostrale (ovvero procederebbe dalle regioni posteriori a quelle anteriori) e culminerebbe nella corteccia temporale anteriore e in quella frontale, dove si presume abbiano luogo le rappresentazioni più integrate della percezione multisensoriale della realtà in corso in quel momento.

Il concetto di «cellula della nonna» esprime bene questi assunti. Una cellula della nonna è un neurone localizzato in prossimità del punto più alto della cascata di elaborazione (per esempio, nel lobo temporale anteriore), la cui attività di per se stessa rappresenterebbe in modo completo la nostra nonna nel momento in cui la *percepiamo.* Queste singole cellule (o piccoli gruppi di queste cellule) sarebbero la sede di una rappresentazione generale completa degli oggetti e degli eventi, durante la percezione. Non solo: esse conserverebbero anche una *registrazione* di quei contenuti percepiti. La localizzazione delle registrazioni mnemoniche coinciderebbe con quella delle cellule della nonna. Un fatto ancor più impressionante, che risponde direttamente all'interrogativo posto in precedenza, è che – una volta riattivate – le cellule della nonna consentirebbero la riproduzione di quegli stessi contenuti così come sono stati percepiti nella loro interezza. In breve, l'attività di quei neuroni sarebbe responsabile della rievocazione di varie immagini appropriatamente integrate, ivi inclusi il volto di

mia nonna o gli spari uditi da Dick Diver alla stazione ferroviaria. Il *dove* del processo di rievocazione sarebbe dunque quello.

A mio parere, la spiegazione data qui sopra è improbabile. Secondo questa descrizione, un danno che interessi la corteccia frontale e la corteccia temporale anterosuperiore, in altre parole un danno alle regioni anteriori del cervello, dovrebbe precludere *sia* la percezione normale, *sia* la normale attività di rievocazione. La prima verrebbe meno perché i neuroni in grado di creare la rappresentazione ben integrata di un'esperienza percettiva coesa non sarebbero più funzionali. Quanto alla seconda, verrebbe meno anch'essa, perché le stesse cellule alla base della percezione integrata sono anche alla base delle registrazioni mnemoniche integrate.

La spiegazione tradizionale – purtroppo per lei – non gode di buona salute: questa previsione infatti non è sostenuta dalla realtà dei risultati prodotti dalle ricerche neuropsicologiche. I punti essenziali di questa realtà discordante sono i seguenti. I pazienti con lesioni localizzate nelle regioni cerebrali anteriori – frontali e temporali – presentano una percezione normale e mostrano soltanto alcuni deficit selettivi nella rievocazione e nel riconoscimento di oggetti ed eventi particolari.

Capita, per esempio, che i pazienti descrivano con gran dovizia di dettagli i contenuti di una fotografia che viene loro mostrata, e che inoltre descrivano la fotografia correttamente come l'immagine di una festa (compleanno, matrimonio), senza tuttavia riuscire a riconoscere che si tratta della *loro* festa. Un danno alle regioni anteriori del cervello non compromette né la percezione integrata dell'intera scena, né l'interpretazione del suo significato. Non compromette nemmeno la percezione dei numerosi oggetti – persone, sedie, tavoli, torta di compleanno, candeline, vestiti della festa, eccetera – che compongono l'immagine, né il recupero del loro significato. Il danno localizzato anteriormente permette sia la visione integrata sia la visione delle parti. Per

compromettere l'accesso alle componenti separabili del ricordo – quelle che corrispondono ai vari oggetti o alle loro caratteristiche, come il colore o il movimento –, occorre una localizzazione del danno completamente diversa. Tale accesso è infatti negato soltanto in seguito a lesioni che interessino settori della corteccia cerebrale situati molto più indietro, nei pressi delle principali regioni sensoriali e motorie.

In conclusione, il danno alle cortecce associative integrative non preclude la percezione integrata, né la rievocazione delle componenti o del significato di un insieme non particolare costituito da più oggetti e caratteristiche. Tali lesioni apportano una sola conseguenza importante e peculiare nel processo di rievocazione: *precludono la rievocazione della particolare unicità e della specificità di oggetti e scene.* Una determinata festa di compleanno continuerà a essere una festa di compleanno, ma non sarà più la *specifica* festa di compleanno di qualcuno, associata a un luogo e a una data. Solo un danno che interessi le cortecce sensoriali di ordine inferiore – quelle che creano la mente – o le zone a esse limitrofe preclude effettivamente il richiamo dell'informazione un tempo elaborata da quelle cortecce e registrata nelle regioni adiacenti.

BREVE DIVAGAZIONE SUI TIPI DI MEMORIA

Le possibili distinzioni tra i diversi tipi di memoria riguardano non soltanto la materia che è argomento della rievocazione, ma anche l'insieme delle circostanze in cui quell'argomento è calato, in una particolare situazione di *recall.* In questa luce, diverse denominazioni tradizionali comunemente applicate a vari tipi di memoria (*generica* vs. *particolare, semantica* vs. *episodica*) non colgono la ricchezza del fenomeno. Per esempio, se qualcuno mi chiede di una particolare casa dove ho vis-

suto in passato, stimolandomi con un suggerimento verbale o con una fotografia, probabilmente richiamerò alla mente moltissimi elementi legati alle mie esperienze personali in quella casa; questo comporta la ricostruzione di configurazioni sensomotorie di diverso tipo, riconducibili a diverse modalità sensoriali, così che ogni sentimento personale possa essere rivissuto. Se, invece, mi si chiede di rievocare il concetto generale di casa, potrei benissimo richiamare con l'occhio della mente quella stessa casa particolare, e poi accingermi a formulare il concetto generico di casa; in quelle circostanze, tuttavia, la natura della domanda modificherebbe il processo della mia rievocazione. Lo scopo della seconda richiesta, probabilmente, inibirà il ricordo della gran messe di dettagli personali tanto prominenti nel caso precedente: invece di comporre un ricordo personale, mi limiterò a elaborare un insieme di fatti che soddisfino il mio bisogno del momento, che è quello di definire la parola *casa*.

La distinzione fra il primo e il secondo esempio sta nel grado di complessità insito nel processo del ricordo. Quella complessità può essere misurata in termini di numero e varietà di elementi rievocati in rapporto a un particolare oggetto o evento. In altre parole, *quanto più è ampio il contesto sensomotorio che viene rivissuto relativamente a un'entità o a un evento particolari, tanto maggiore è la complessità.* Il ricordo di entità ed eventi particolari – precisamente quelli che sono al tempo stesso particolari e personali – richiede contesti di complessità elevata. Qui possiamo cogliere una progressione gerarchica di complessità: le entità e gli eventi particolari-personali richiedono la massima complessità; quelli particolari ma non personali seguono a ruota; infine, quelli non particolari comportano il minimo livello di complessità.

A scopo pratico, è utile affermare che un dato termine viene rievocato a uno solo dei livelli appena specificati: per esempio, «non particolare»; oppure «particolare-personale». Questa distinzione è grossolanamente

paragonabile a quella fra memoria *semantica/episodica* o *generica/contestuale.*

È anche utile conservare la distinzione fra memoria *fattuale* e *procedurale,* perché coglie un fondamentale spartiacque tra gli «oggetti» – entità in stato di quiete, dotate di una certa struttura – e il loro «movimento» nello spazio e nel tempo. Anche qui, però, il confine può diventare insidioso.

In ultima analisi, la validità di queste categorie sta nel fatto che il cervello ne rispetti o meno i confini. Grosso modo, nella rievocazione, il cervello onora le distinzioni fra elaborazione particolare e non; rispetta inoltre la distinzione tra memoria fattuale e procedurale tanto nella creazione di un ricordo, quanto nella sua rievocazione.

UNA POSSIBILE SOLUZIONE DEL PROBLEMA

La riflessione su queste osservazioni mi ha indotto a proporre un modello di architettura neurale mirato a spiegare i processi di rievocazione e riconoscimento.[5] Ecco i risultati ottenuti grazie al modello.

Le immagini possono essere esperite sia durante la percezione, sia durante la rievocazione. Sarebbe impossibile archiviare, nel loro formato originale, le mappe alla base di tutte le immagini che sono state oggetto di esperienza. Le cortecce sensoriali di ordine inferiore, per esempio, costruiscono di continuo mappe riguardanti l'ambiente in tempo reale e non hanno risorse per archiviare le mappe scartate. In cervelli come il nostro, però, grazie alle reciproche connessioni fra lo spazio delle disposizioni e quello impegnato nella creazione di mappe, queste ultime possono essere registrate sotto forma di disposizioni, le quali sono quindi anche meccanismi salvaspazio per l'archiviazione delle informazioni. Le disposizioni possono essere usate anche per ricostruire le mappe nello stesso formato in cui erano state origi-

nariamente esperite, nelle cortecce sensoriali di ordine inferiore.

Il modello prendeva in considerazione i risultati neuropsicologici descritti in precedenza e postulava che i gruppi cellulari ai massimi livelli delle gerarchie di elaborazione non conservassero rappresentazioni esplicite delle mappe di oggetti ed eventi. Invece, essi conservavano il know-how, ovvero le *disposizioni*, per procedere – all'occorrenza – alla ricostruzione finale delle rappresentazioni esplicite. In altre parole, stavo usando il semplice sistema delle disposizioni introdotto in precedenza; questa volta però la disposizione, invece di prescrivere un banale movimento, stava *ordinando il processo di riattivazione e assemblaggio degli aspetti di percezioni passate*, ovunque esse fossero state elaborate e poi localmente registrate. In modo più specifico, le disposizioni agirebbero su molte cortecce sensoriali di livello inferiore originariamente coinvolte nella percezione: lo farebbero per mezzo di connessioni divergenti dal loro sito e dirette alle cortecce sensoriali di livello inferiore. In ultima analisi, il locus in cui le registrazioni mnemoniche verrebbero effettivamente riprodotte non sarebbe molto diverso da quello della percezione originale.

ZONE DI CONVERGENZA-DIVERGENZA

La parte principale del quadro concettuale da me proposto era un'architettura neurale di connessioni corticali con proprietà di segnalazione convergente e divergente rispetto a particolari nodi, che ho chiamato *zone di convergenza-divergenza* (ZCD): esse registravano la *coincidenza* dell'attività in neuroni localizzati in siti cerebrali diversi, neuroni che erano stati attivati, per esempio, dalla mappatura di un particolare oggetto. Per essere archiviata nella memoria, nessuna parte della mappa complessiva dell'oggetto doveva essere permanente-

mente ri-rappresentata nelle ZCD: occorreva invece che fosse registrata solo la coincidenza dei segnali provenienti dai neuroni connessi alla mappa. Per ricostruire la mappa originale e quindi realizzare la rievocazione, ho proposto il meccanismo della *retroattivazione con sincronizzazione.* Il termine *retroattivazione* indicava che il meccanismo necessitava di un processo di «ritorno» per indurre l'attività; il termine *sincronizzazione* richiamava l'attenzione su un altro requisito, ovvero la necessità di retroattivare le componenti della mappa all'incirca nello stesso intervallo temporale, in modo che quanto aveva luogo simultaneamente (o quasi) a livello di percezione potesse essere ripristinato simultaneamente (o quasi) anche nella rievocazione.

L'altro elemento essenziale del quadro concettuale consisteva nel postulare una divisione del lavoro fra due tipi di sistemi cerebrali: uno che gestiva mappe/immagini e un altro che gestiva disposizioni. Per quanto riguardava le cortecce cerebrali, proposi che lo *spazio delle immagini* consistesse di diverse isole di cortecce sensoriali di ordine inferiore: per esempio, il gruppo delle cortecce visive che circondano la corteccia visiva primaria (area 17 o V1), l'insieme delle cortecce uditive, quello delle cortecce somatosensoriali, eccetera.

Quanto allo *spazio delle disposizioni,* esso comprendeva tutte le cortecce associative di ordine superiore delle regioni temporale, parietale e frontale; e inoltre un antico gruppo di sistemi disposizionali localizzato al di sotto della corteccia cerebrale, in strutture quali il prosencefalo basale, i gangli basali, il talamo, l'ipotalamo e il tronco encefalico.

In breve, lo spazio delle immagini è lo spazio in cui si formano le immagini esplicite di tutte le modalità sensoriali: sia quelle che diventano coscienti, sia quelle che rimangono inconsce. Lo spazio delle immagini è localizzato nel grande territorio cerebrale che crea le mappe, formato dall'aggregazione di tutte le cortecce sensoriali di ordine inferiore: regioni corticali localizzate all'inter-

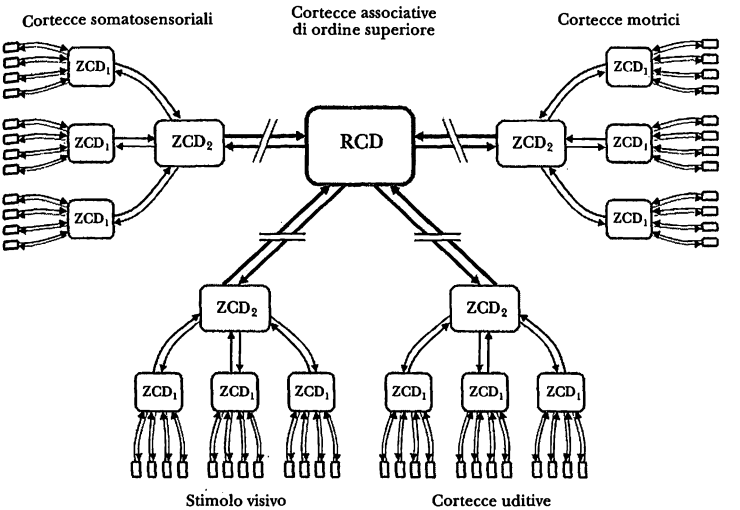


Figura 6.1 Schema dell'architettura di convergenza-divergenza (sono raffigurati quattro livelli gerarchici). Il livello delle cortecce primarie è rappresentato sotto forma di piccoli rettangoli grigi, mentre i tre livelli di convergenza-divergenza (rettangoli più grandi) sono contrassegnati con le sigle ZCD_1, ZCD_2 e RCD. Fra i livelli ZCD e i livelli RCD (frecce interrotte) possono essere presenti numerose ZCD intermedie. Si noti che, in tutta la rete, ogni proiezione in avanti ha una corrispondente proiezione di ritorno (frecce).

no, e nei pressi, del punto in cui segnali visivi, uditivi e di altra natura arrivano al cervello. Esso comprende anche i territori del nucleo del tratto solitario, del nucleo parabrachiale e dei collicoli superiori, che hanno la capacità di formare immagini.

Lo *spazio delle disposizioni* è quello in cui esse detengono sia la base di conoscenza, sia i dispositivi per la sua ricostruzione nel processo di rievocazione. È la fonte delle immagini nel processo di immaginazione e ragionamento, ed è anche usato per generare il movimento. È localizzato nelle cortecce cerebrali non altrimenti occupate dallo spazio delle immagini (le cortecce di ordine

superiore e parte delle cortecce limbiche) e in numerosi nuclei subcorticali. Quando sono attivati, i circuiti disposizionali inviano segnali ad altri circuiti inducendo la produzione di immagini o azioni.

I contenuti esibiti nello spazio delle immagini sono *espliciti,* mentre quelli dello spazio disposizionale sono *impliciti.* Se siamo coscienti, possiamo avere accesso ai contenuti delle immagini, ma non possiamo mai accedere direttamente ai contenuti delle disposizioni. Necessariamente, *i contenuti delle disposizioni sono sempre inconsci.* Essi esistono in una forma criptata e silente.

Le disposizioni producono diversi risultati. A un livello fondamentale, possono generare azioni di molti tipi e di molti gradi di complessità: la liberazione di un ormone nel sangue circolante; la contrazione della muscolatura dei visceri oppure dei muscoli di un arto o dell'apparato di fonazione. Le disposizioni corticali, però, conservano anche registrazioni di immagini realmente percepite in occasioni precedenti, e partecipano al tentativo di ricostruire un abbozzo di quell'immagine grazie a informazioni memorizzate. Le disposizioni contribuiscono inoltre all'elaborazione delle immagini nel momento in cui sono percepite; per esempio, influenzando il grado di attenzione che viene loro prestato. Noi non siamo mai consapevoli della conoscenza necessaria per eseguire uno qualsiasi di questi compiti, né dei loro passaggi intermedi. Siamo consapevoli soltanto dei risultati, per esempio uno stato di benessere, il battito precipitoso del cuore, il movimento di una mano, il frammento di un suono ricordato, la versione rifinita della percezione di un paesaggio in tempo reale.

I nostri ricordi delle cose, delle proprietà degli oggetti, delle persone e dei luoghi, di eventi e relazioni, di abilità e processi necessari alla regolazione dei processi vitali – insomma tutti i nostri ricordi: quelli ereditati dall'evoluzione e disponibili già alla nascita, e quelli acqui-

siti in seguito, grazie all'apprendimento – esistono nel nostro cervello in forma di disposizioni, in attesa di diventare immagini esplicite o azioni. *La nostra base di conoscenza è implicita, criptata e non cosciente.*

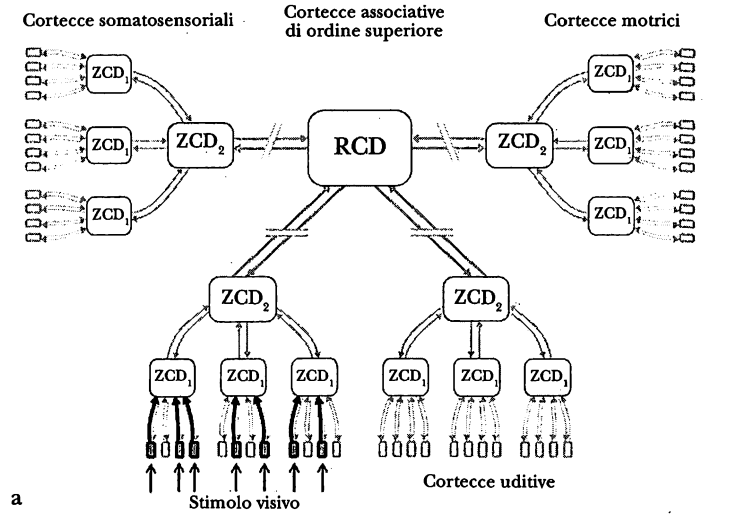
Le disposizioni non sono parole; sono registrazioni astratte di potenzialità. La base per la messa in atto delle parole o dei segni esiste anch'essa sotto forma di disposizioni che poi prendono vita, come immagini e azioni, nella produzione del linguaggio verbale o dei segni. Le regole con cui noi mettiamo insieme parole e segni, la grammatica di un linguaggio, sono anch'esse conservate come disposizioni.

ANCORA SULLE ZONE DI CONVERGENZA-DIVERGENZA

Una zona di convergenza-divergenza (ZCD) è un gruppo di neuroni all'interno del quale entrano in contatto molti circuiti di *feedforward* e *feedback*. Una ZCD riceve connessioni *feedforward* da aree sensoriali localizzate a livello «inferiore» nelle catene di elaborazione dei segnali, le quali iniziano nel punto in cui le afferenze sensoriali entrano nella corteccia cerebrale. A sua volta, la ZCD invia proiezioni *feedback* a quelle stesse aree di origine. Una ZCD invia anche proiezioni *feedforward* verso regioni che, nella catena, sono localizzate al livello di connessione successivo, ricevendo da esse proiezioni di ritorno.

Le ZCD sono microscopiche e si trovano all'interno di regioni di convergenza-divergenza (RCD), che sono invece macroscopiche. Io immagino che il numero delle ZCD sia nell'ordine di molte migliaia, e quello delle RCD nell'ordine delle decine. Le ZCD sono micronodi; le RCD sono macronodi.

Le RCD sono localizzate, all'interno delle cortecce associative, in aree strategiche verso le quali convergono diverse vie fondamentali. È possibile immaginare le RCD



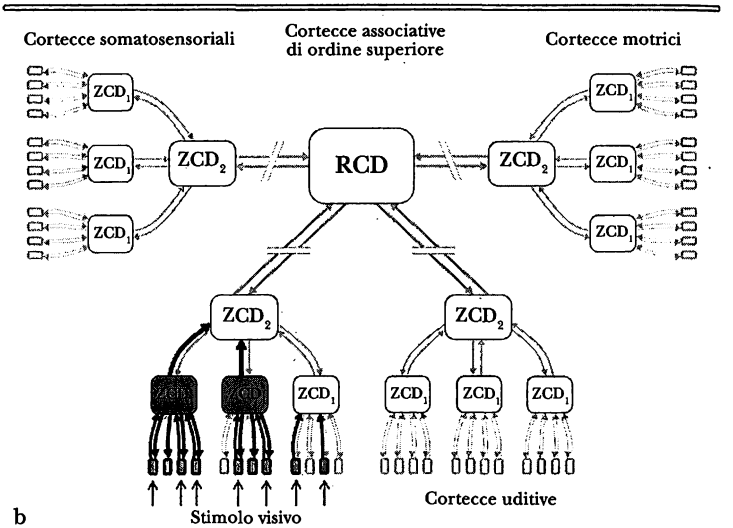
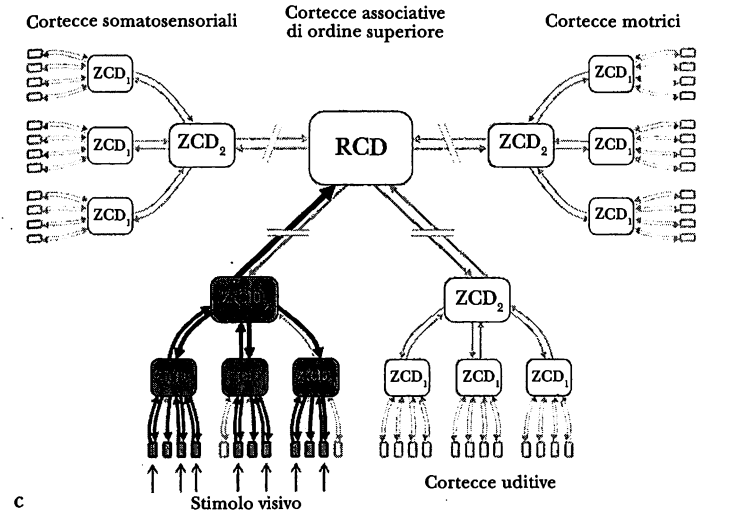
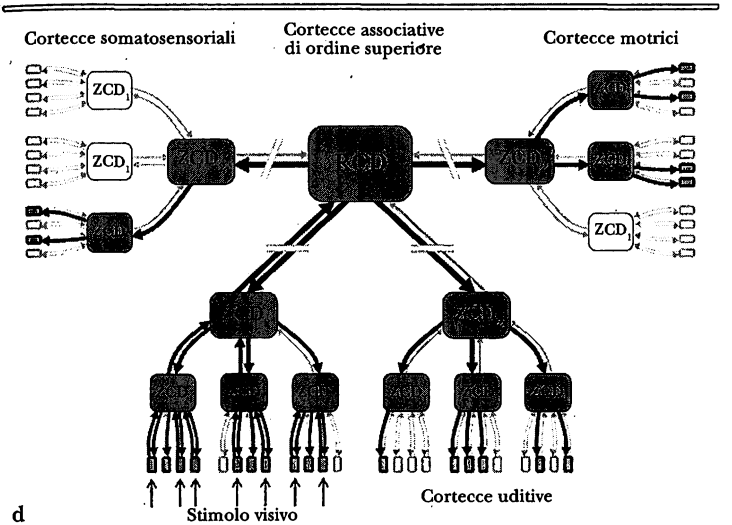


Figura 6.2 Uso dell'architettura di convergenza-divergenza per rievocare ricordi sollecitati da uno specifico stimolo visivo. Negli schemi *a* e *b*, un particolare stimolo visivo in entrata (un insieme selettivo di piccoli rettangoli pieni) sollecita l'attività delle ZCD dei livelli 1 e 2 (frecce in grassetto e rettangoli pieni). Nello schema *c* vengono attivate specifiche RCD, men-





tre nello schema *d* la retroattivazione a partire dalle RCD innesca l'attività di cortecce somatosensoriali, uditive e motrici di ordine inferiore come pure di altre cortecce visive (frecce in grassetto, rettangoli pieni). La retroattivazione genera rappresentazioni nello «spazio delle immagini», ma anche movimenti (insieme selezionato di piccoli rettangoli pieni).

come hub sulla mappa di una linea aerea. Pensiamo a Chicago, Washington, New York, Los Angeles, San Francisco, Denver o Atlanta. Questi hub ricevono gli aeroplani lungo vie di traffico in entrata e li re-inviano utilizzando le medesime vie. Gli hub – e questo è molto importante – sono interconnessi anche fra loro, sebbene alcuni siano più periferici di altri. Infine, alcuni di essi sono più grandi di altri, il che significa semplicemente che sotto il loro ombrello si ripara un maggior numero di ZCD.

Grazie a studi di neuroanatomia sperimentale, sappiamo che nel cervello dei primati non umani esistono queste configurazioni di connettività.[6] Sappiamo inoltre – da recenti studi di neuroimmagine condotti con risonanza magnetica utilizzando diverse tecniche di diffusione – che tali configurazioni esistono anche negli esseri umani.[7] Come vedremo nei prossimi capitoli, le RCD sono importanti nella produzione e nell'organizzazione dei contenuti essenziali della mente cosciente, compresi quelli che compongono il sé autobiografico.

Sia le RCD, sia le ZCD entrano in essere sotto il controllo genetico. Nel momento in cui l'organismo interagisce con l'ambiente durante lo sviluppo, il rafforzamento o l'indebolimento sinaptico introduce cambiamenti significativi nelle regioni di convergenza e modifica massivamente le ZCD. Il rafforzamento sinaptico ha luogo quando le circostanze esterne corrispondono alle esigenze di sopravvivenza dell'organismo.

In breve, il compito che io immagino per le ZCD consiste nel ricreare configurazioni separate di attività neurali che durante la percezione si erano verificate in modo all'incirca simultaneo – ovvero coincidenti nella finestra temporale necessaria perché noi prestassimo loro attenzione e ne fossimo coscienti. Per ottenere questo, la ZCD indurrà una sequenza di attivazione velocissima – e non avvertita dalla coscienza –, che porterà regioni neurali separate a «connettersi» in un certo ordine.

In questa architettura, il recupero della conoscenza si baserebbe sull'attività – relativamente simultanea e og-

getto di attenzione – presente in molte regioni corticali di ordine inferiore, generata nell'arco di diverse reiterazioni di questi cicli di riattivazione. Quelle attività separate sarebbero alla base delle rappresentazioni ricostruite. La conoscenza verrebbe recuperata a un livello dipendente dalla portata dell'attivazione multiregionale. Questa, a sua volta, dipenderebbe dal livello di ZCD attivato.[8]

IL MODELLO ALL'OPERA

Che prove abbiamo del fatto che il modello convergenza-divergenza corrisponda alla realtà? Recentemente, io e il mio collega Kaspar Meyer abbiamo analizzato un gran numero di studi nei campi della percezione, dell'immaginazione e dell'elaborazione «a specchio» e abbiamo considerato i loro risultati dalla prospettiva del modello della convergenza-divergenza:[9] molti di essi costituiscono interessanti verifiche del modello in studio. Ecco un esempio.

In una conversazione con un'altra persona, noi ascoltiamo la voce di chi parla e simultaneamente vediamo le sue labbra muoversi. Secondo il modello ZCD, poiché un certo movimento delle labbra si verifica ripetutamente in associazione alla componente sonora corrispondente, i due eventi neurali – rispettivamente nelle cortecce visiva e uditiva di ordine inferiore – vengono associati in una ZCD condivisa. In futuro, quando ci troveremo di fronte a una sola parte di quella scena (per esempio, se osserveremo uno specifico movimento delle labbra in un videoclip senza audio), la configurazione di attività indotta in tal modo nella corteccia visiva di ordine inferiore attiverà la ZCD condivisa, e quest'ultima retroattiverà, nella corteccia uditiva di pari livello, la rappresentazione del suono originariamente associato al movimento delle labbra.

Secondo il modello delle ZCD, la lettura labiale, in as-

senza di qualsiasi suono, induce l'attività delle cortecce uditive, e le configurazioni di attività così evocate coincidono con quelle indotte durante la percezione di parole effettivamente pronunciate.[10] La mappa uditiva del suono diventa parte integrante della rappresentazione del movimento labiale. Il modello ZCD spiega come sia possibile, quando si riceve lo stimolo visivo appropriato, udire un suono con l'occhio della mente (o viceversa).

Se qualcuno considerasse cosa di poco conto questa impresa del cervello di sincronizzare elementi visivi e uditivi, dovrebbe pensare al disagio e all'irritazione che si prova quando, nella proiezione di un film, la tecnologia è scadente e le componenti audio e video sono fuori sincronia o, peggio ancora, quando ci tocca guardare un gran film doppiato male. Numerosi altri studi sulla percezione riguardanti altre modalità sensoriali (olfatto, tatto), e anche studi di neuropsicologia condotti su primati non umani, hanno prodotto risultati spiegabili in modo soddisfacente con il modello ZCD.[11]

Altri dati interessanti provengono da alcuni studi sulla creazione di immagini mentali. Come suggerisce il termine stesso, l'immaginazione, intesa come processo, consiste nella rievocazione di immagini e nella loro successiva manipolazione: operazioni di taglio, ampliamento, riordinamento, eccetera. Possiamo chiederci se, quando usiamo la nostra immaginazione, le immagini siano prodotte in forma di «quadri» (visivi, uditivi, eccetera), oppure se essa si basi su descrizioni mentali simili a quelle linguistiche.[12] Il modello ZCD avalla la prima ipotesi (descrizione in forma di «quadro»): quando oggetti o eventi sono percepiti direttamente, ma anche quando sono richiamati dall'archivio della memoria, vengono attivate regioni simili. Le immagini costruite durante la percezione sono poi *ri*-costruite nel processo di immaginazione. Più che repliche, esse sono approssimazioni – tentativi di tornare alla realtà del passato – e quindi non hanno assolutamente la stessa intensità o la stessa accuratezza.

Come indicato in modo inequivocabile da moltissimi studi, l'esecuzione di compiti che implicano la produzione di immagini in modalità visiva o uditiva evoca di solito configurazioni di attività cerebrale considerevolmente sovrapposte a quelle rilevate durante la vera percezione;[13] dal canto loro, anche i risultati degli studi su lesioni forniscono prove stringenti della fondatezza del modello ZCD in generale e, più in particolare, della descrizione dell'immaginazione come composizione di un quadro. Lesioni cerebrali focali spesso causano deficit simultanei sia a livello della percezione, sia nella produzione di immagini. Un esempio è l'incapacità di percepire e immaginare i colori causata da un danno alla regione occipitotemporale. I pazienti con lesioni focali localizzate in questa regione percepiscono il mondo visivo in bianco e nero: letteralmente, nella gamma dei grigi. Questi soggetti non sono in grado di «immaginare» il colore. Sanno perfettamente che il sangue è rosso, e tuttavia non riescono a immaginare il rosso con l'occhio della mente, non più di quanto possano vederlo quando guardano una *fiche* di quel colore.

Dati provenienti sia da studi di neuroimmagine funzionale, sia da studi di lesioni indicano che, nella corteccia, la rievocazione di oggetti ed eventi si affida, almeno in parte, all'attività che ha luogo sia nei pressi dei siti di ingresso delle afferenze sensoriali, sia nei pressi dei siti di uscita delle efferenze motorie. Di sicuro non è una coincidenza che questi siano gli stessi siti impegnati nella percezione originale di oggetti ed eventi.

Anche la ricerca sui neuroni specchio fornisce le prove del fatto che un'architettura basata sulla convergenza-divergenza offre una spiegazione soddisfacente di certi fenomeni – comportamenti e operazioni mentali – complessi. Nella ricerca sui neuroni specchio (cap. 4) il risultato fondamentale è che la semplice osservazione di un'azione è sufficiente per attivare, nel cervello, le aree

motrici corrispondenti.[14] Il modelo ZCD è ideale per spiegare questa osservazione. Consideriamo che cosa accade quando compiamo un'azione. In primo luogo, un'azione non consiste meramente di una sequenza di movimenti generati dalle regioni motorie del cervello; essa abbraccia rappresentazioni sensoriali che sorgono simultaneamente nelle cortecce somatosensoriale, visiva e uditiva. Secondo il modello ZCD, la ripetuta concomitanza delle diverse mappe sensomotorie che descrivono un'azione specifica dà luogo alla ripetizione di segnali convergenti diretti a una particolare ZCD. In occasioni successive, quando sarà percepita la stessa azione, per esempio visivamente, l'attività generata nelle cortecce visive attiverà la ZCD pertinente. La ZCD userà poi retroproiezioni divergenti verso le cortecce sensoriali di ordine inferiore per riattivare le associazioni relative ad altre modalità, per esempio la somatosensoriale e la uditiva. La ZCD segnala inoltre alle cortecce motrici e genera un movimento specchio. Dalla nostra prospettiva, i neuroni specchio sono i neuroni delle ZCD implicati nel movimento.[15]

Secondo il modello ZCD, i neuroni specchio, da soli, non potrebbero consentire agli osservatori di cogliere il significato di un'azione. Non sono le ZCD a conservare il significato degli oggetti e degli eventi: esse ricostruiscono invece quel significato attraverso una retroattivazione multiregionale sincronizzata che ha luogo in diverse cortecce di ordine inferiore. Poiché è probabile che i neuroni specchio coincidano con le ZCD, il significato di un'azione non può essere contenuto in queste cellule soltanto. Occorre invece eseguire una ricostruzione di diverse mappe sensoriali precedentemente associate all'azione: ricostruzione eseguita sotto il controllo delle ZCD in cui è stato registrato un legame con quelle mappe originali.[16]

La percezione o la rievocazione di moltissimi oggetti ed eventi dipende dall'attività di diverse regioni del cervello coinvolte nella creazione di immagini, e spesso interessa anche regioni legate al movimento. Questa configurazione di attività, così altamente dispersa, ha luogo nello *spazio delle immagini.* È questa attività, più di quella che ha luogo nei neuroni localizzati al termine delle catene di elaborazione, che ci consente di percepire immagini esplicite di oggetti ed eventi. Da un punto di vista funzionale e anatomico, l'attività al termine delle catene di elaborazione ha luogo nello *spazio disposizionale.* Quest'ultimo è costituito da ZCD e RCD situate nelle cortecce associative, che non producono immagini. Lo spazio disposizionale guida la formazione delle immagini ma non è direttamente coinvolto nella loro presentazione.

In questo senso, lo spazio delle disposizioni contiene le «cellule della nonna», liberamente definite come neuroni la cui attività è correlata alla presenza di un oggetto specifico, ma non come neuroni la cui attività permette, di per se stessa, immagini mentali esplicite di oggetti ed eventi. In effetti i neuroni della corteccia temporale mediale anteriore rispondono, con elevata specificità, a oggetti particolari, tanto nella percezione quanto nella rievocazione: ciò indica che questa regione riceve segnali convergenti.[17] La mera attivazione di quei neuroni, d'altra parte, senza la retroattivazione che ne seguirà, non ci consentirebbe di riconoscere la nostra nonna, né di ricordarla. Per far questo, occorre ripristinare una parte sostanziale dell'insieme di mappe esplicite che nel loro complesso ne rappresentano il significato. Come i neuroni specchio, anche i «neuroni della nonna» sono ZCD: essi consentono, nelle cortecce sensomotorie di livello inferiore, la retroattivazione multiregionale, con sincronizzazione, di mappe esplicite.

In conclusione, il modello ZCD postula due «spazi ce-

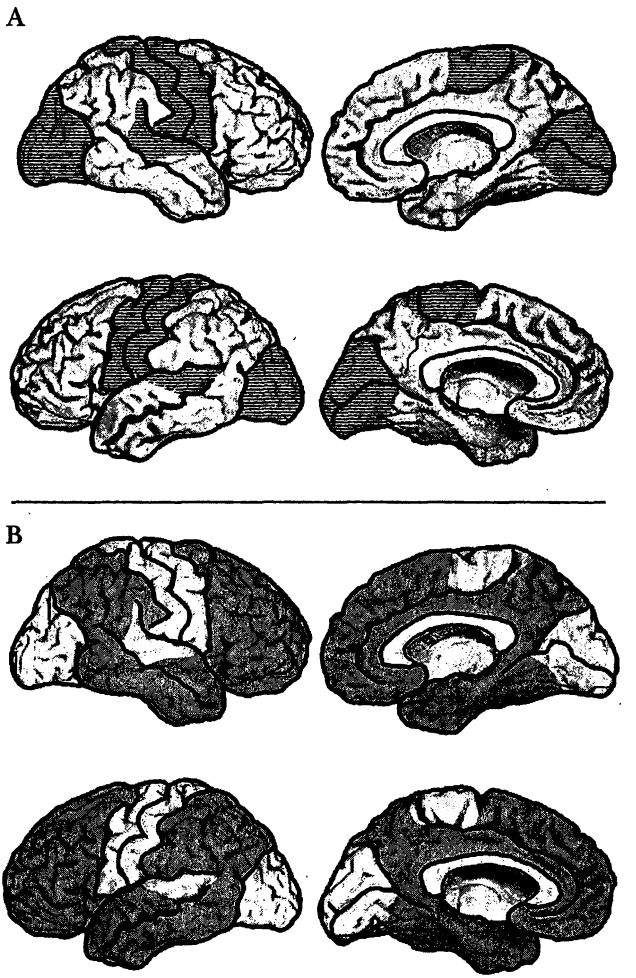


Figura 6.3 Lo spazio delle immagini (mappato) e lo spazio delle disposizioni (non mappato) nella corteccia cerebrale. Nei quattro disegni della tavola A, lo spazio delle immagini, insieme alla corteccia motrice primaria, è rappresentato dalle aree ombreggiate.

Nei quattro disegni della tavola B, le aree ombreggiate rappresentano invece lo spazio delle disposizioni. Le componenti separate dello spazio delle immagini sembrano isole nell'oceano dello spazio delle disposizioni.

rebrali» in un certo qual modo separati. Uno di essi costruisce durante la percezione mappe esplicite di oggetti ed eventi che poi ricostruirà durante la rievocazione. Sia nella percezione, sia nella rievocazione, vi è una evidente corrispondenza fra le proprietà dell'oggetto e la mappa. L'altro spazio, invece, non conserva mappe ma disposizioni, ovvero formule implicite per ricostruire le mappe nello spazio delle immagini.

Lo spazio delle immagini esplicite è costituito dall'insieme delle cortecce sensomotorie di livello inferiore. Quando parlo di «spazio di lavoro» in relazione ai siti in cui vengono assemblate le immagini, penso a esso come al luogo in cui si svolge lo spettacolo di marionette che noi contempliamo nella mente cosciente. Lo spazio delle disposizioni implicite è costituito invece dall'insieme delle cortecce associative. Questo è lo spazio in cui molti inconsapevoli teatranti tirano i fili invisibili delle loro marionette.

I due spazi risalgono a epoche diverse dell'evoluzione del cervello: una in cui le disposizioni erano sufficienti a guidare un comportamento adeguato, l'altra in cui le mappe diedero origine a immagini e a un notevole salto di qualità nel comportamento. Oggi questi due spazi sono integrati senza soluzioni di continuità.

PARTE TERZA
ESSERE COSCIENTI

7
LA COSCIENZA OSSERVATA

DEFINIZIONE DI «COSCIENZA»

Se apriamo un comune dizionario e cerchiamo la definizione di *coscienza,* probabilmente ci imbatteremo in una variazione su questo tema: «Stato di consapevolezza di sé e dell'ambiente circostante». Se scriviamo *conoscenza* al posto di *consapevolezza* e *propria esistenza* al posto di *sé,* otteniamo un'affermazione che coglie alcuni aspetti essenziali della mia idea di coscienza: *uno stato della mente in cui vi è conoscenza della propria esistenza e di quella dell'ambiente circostante.* La coscienza è uno *stato della mente*: se non vi è mente, non vi è coscienza; ed è uno stato della mente *particolare,* arricchito dalla percezione del particolare organismo in cui la mente sta operando; infine, lo stato della mente include la conoscenza, così che l'esistenza cui accennavo sopra sia *contestualizzata,* circondata di oggetti ed eventi. La coscienza è uno stato della mente al quale è stato aggiunto un processo del sé.

Lo stato della mente cosciente è esperito dalla prospettiva esclusiva, in prima persona, di ciascun organismo, e non è mai osservabile da nessun altro. L'esperienza è posseduta dall'organismo che l'ha vissuta e da lui soltanto; sebbene sia esclusivamente privata, possiamo tuttavia adottare nei suoi confronti un punto di vista re-

lativamente «oggettivo». Per esempio, io adotto un punto di vista di questo tipo quando cerco di cogliere una base neurale per il sé-oggetto, il mio «me materiale». Un «me materiale» arricchito, inoltre, è in grado di consegnare la conoscenza alla mente. In altre parole, il sé-oggetto può operare anche da soggetto della conoscenza, da conoscitore.

Possiamo ampliare questa definizione affermando in primo luogo che gli stati mentali coscienti hanno sempre un contenuto (riguardano sempre qualcosa) e che alcuni di quei contenuti tendono a essere percepiti come composizioni ben integrate di parti (per esempio, quando vediamo e udiamo una persona che parla e viene verso di noi); in secondo luogo, che gli stati mentali coscienti rivelano proprietà qualitative distinte attinenti ai diversi contenuti conosciuti (è qualitativamente diverso vedere o udire, toccare o gustare); e, in terzo luogo, che gli stati mentali coscienti contengono obbligatoriamente un aspetto del *sentire*; noi li *sentiamo* in un certo modo. Infine, la nostra definizione provvisoria deve affermare che gli stati mentali coscienti sono possibili solo quando ci troviamo in stato di veglia, anche se questo punto conosce una parziale eccezione, quando dormiamo, nella coscienza paradossa che ha luogo durante i sogni. In conclusione, nella sua forma normale, la coscienza è uno stato della mente che si manifesta quando siamo svegli e nel quale vi è una conoscenza privata e personale della nostra esistenza, quest'ultima contestualizzata rispetto all'ambiente, quale che esso sia in un dato momento. Necessariamente, questi stati mentali trattano conoscenze basate su materiali riconducibili a modalità sensoriali diverse – corporea, visiva, uditiva, eccetera – e manifestano proprietà qualitative diverse per i diversi flussi di informazioni sensoriali. Gli stati coscienti della mente sono *sentiti.*

Quando parlo della coscienza non mi riferisco soltanto allo stato di veglia, un comune quanto improprio accostamento derivante dal fatto che, quando si esce dallo

stato di veglia, spesso si esce anche dallo stato di coscienza. (Affronterò questi temi nelle prossime pagine). La definizione chiarisce anche che il termine «coscienza» *non* si riferisce soltanto a un semplice processo della mente, privo del sé. Considerare la coscienza alla stregua della mente significa, purtroppo, fare un uso comune del termine: secondo me, un uso errato. Spesso si sente parlare di «qualcosa che è presente nella coscienza» intendendo dire «nella mente»; oppure si afferma che qualcosa è diventato un contenuto importante della mente, per esempio in frasi come questa: «Alla fine il problema del riscaldamento globale è penetrato nella coscienza delle nazioni occidentali»; diversi studi contemporanei concentrati sulla coscienza – un numero significativo – la trattano alla stregua della mente. Così come è usato in questo libro, inoltre, il termine *consciousness* [coscienza] non sta né per *self-consciousness* [imbarazzo] come nella frase «John era sempre più *self-conscious* [imbarazzato] mentre lei continuava a fissarlo»; né per *conscience* [coscienza, in senso morale], intesa come una funzione complessa che effettivamente richiede lo stato di coscienza ma si spinge ben oltre ed è attinente alla responsabilità morale. Infine, la mia definizione non si riferisce alla coscienza nel senso colloquiale inteso da James nell'espressione «flusso di coscienza», con la quale spesso si allude ai semplici contenuti della mente mentre scorrono nel tempo come acqua nel letto di un fiume, e non al fatto che tali contenuti incorporano aspetti più o meno sottili di soggettività. Spesso, nel contesto dei soliloqui shakespeariani o joyciani, i riferimenti alla coscienza fanno uso di questa accezione più semplice. È ovvio, d'altra parte, che gli autori originali stavano esplorando il fenomeno nella sua espressione più completa, scrivendo dalla prospettiva del sé di un personaggio: a tal punto ciò è vero, da spingere Harold Bloom a ipotizzare che probabilmente Shakespeare sia stato il primo a introdurre – da solo – il fenomeno della coscienza in letteratura. (Si veda peraltro la posizione di-

versa, del tutto plausibile, sostenuta da James Wood, secondo il quale la coscienza fece effettivamente il suo ingresso in letteratura attraverso il soliloquio, ma molto tempo prima: nella preghiera, per esempio, e nella tragedia greca).[1]

SMONTARE LA COSCIENZA

La coscienza e lo stato di veglia non sono la stessa cosa; essere svegli è tuttavia un prerequisito per essere coscienti. Nel sonno, a prescindere dal fatto che ci si addormenti in modo naturale o che si sia costretti a farlo da un anestetico, la coscienza – intesa nella sua forma normale – svanisce; la sola parziale eccezione è rappresentata da quel particolare stato di coscienza che accompagna i sogni e che, non essendo una forma di coscienza normale, non contraddice assolutamente il requisito della veglia.

Noi tendiamo ad accostarci allo stato di veglia considerandolo un fenomeno *on/off*, in pratica attribuendo un valore «0» al sonno e un valore «1» allo stato di veglia. In una certa misura questo è corretto, ma l'approccio tutto-o-nulla trascura sfumature ben note a chiunque. Il torpore e la sonnolenza sicuramente smorzano la coscienza, senza tuttavia portarla bruscamente a zero. L'atto di spegnere la luce non è un'analogia calzante; molto più centrata è l'idea di abbassarla usando un interruttore varialuce.

A prescindere dal fatto che la nostra azione sia brusca o graduale, che cosa ci rivelano le luci nel momento in cui le accendiamo? Molto spesso svelano qualcosa che comunemente descriviamo come «mente» o «contenuti mentali». E di che cosa è fatta la mente così svelata? Di configurazioni mappate nell'idioma di ogni possibile modalità sensoriale – configurazioni visive, uditive, tattili, muscolari, viscerali, quello che preferite, in meravi-

gliose sfumature, toni, variazioni e combinazioni, che scorrono in modo ordinato o caotico –, in breve, *immagini*. In precedenza ho presentato le mie idee sull'origine delle immagini (cap. 3); qui, tutto quello che occorre è ricordare in primo luogo che le immagini sono la principale valuta di cui si serve la nostra mente; e in secondo luogo che il termine si riferisce a configurazioni riconducibili a tutte le modalità sensoriali, e non solo a quella visiva, come pure a configurazioni astratte non meno che concrete.

Il semplice atto fisiologico di accendere le luci – scuotere qualcuno che si è appisolato – si traduce necessariamente in uno stato di coscienza? Assolutamente no. Non occorre spingersi molto lontano per trovare prove che dimostrano il contrario. È capitato a tutti di svegliarsi spossati e sotto l'effetto del jetlag, da qualche parte oltreoceano, e di impiegare un paio di secondi – per fortuna un tempo breve anche se lì per lì appare lungo – per rendersi conto di dove ci si trovi realmente. Durante quel breve lasso di tempo siamo in presenza di una mente, di certo però non ancora organizzata con tutte le proprietà della coscienza. Se perdo coscienza perché la mia testa ha sbattuto contro un oggetto non proprio morbido, prima che mi «riprenda» passerà un altro intervallo di tempo, misericordiosamente breve, ma misurabile. Per inciso, quel «riprendersi» è un modo sintetico per dire «riprendere coscienza», ovvero ritornare a una mente orientata su di sé. Sebbene poco elegante, questa espressione contiene un esempio di ben fondata saggezza popolare. Riacquistare la coscienza dopo un trauma cranico chiuso – per usare il gergo della neurologia – può richiedere tempi lunghi, durante i quali la vittima non è perfettamente orientata in senso spaziale o temporale, e meno che mai personale.

Queste situazioni mostrano che le funzioni mentali complesse non sono monolitiche e possono letteralmente essere smontate, pezzo per pezzo. Sì, le luci sono accese e siamo svegli. (Un punto per la coscienza). Sì, la

mente è «*on*», si stanno formando immagini di ciò che abbiamo di fronte; quelle rievocate dal passato, però, sono poche e distanziate. (Mezzo punto per la coscienza). No, ci sono ancora pochi elementi per indicare chi sia il proprietario di questa mente così labile, non vi è nessun sé che la reclami come cosa sua. (Zero punti per la coscienza). Complessivamente, qui la coscienza non passa l'esame. Morale: per ottenere un punteggio che consenta la sua promozione, è indispensabile 1) essere svegli; 2) avere una mente operativa; *e* 3) avere, all'interno di quella mente, come protagonista dell'esperienza, un senso del sé automatico, spontaneo, non dedotto, non importa quanto sottile. Esprimendoci in termini poetici, potremmo dire che in stato di veglia e in presenza della mente – entrambi requisiti necessari per essere coscienti – l'aspetto distintivo della coscienza sia il pensiero stesso di sé. Per rendere la poesia più accurata, tuttavia, dovremmo dire «il pensiero stesso, *sentito*, di sé».

Il fatto che lo stato di veglia e la coscienza non siano la stessa cosa è evidente quando consideriamo quella particolare condizione di interesse neurologico nota come «stato vegetativo». I pazienti in stato vegetativo non manifestano in alcun modo di essere coscienti. Come coloro che versano in stato di coma – una situazione simile ma più grave –, i soggetti in stato vegetativo non rispondono ad alcun messaggio proveniente dagli esaminatori e non danno alcun segno spontaneo di consapevolezza di sé o dell'ambiente circostante. Eppure, il loro elettroencefalogramma (il tracciato delle onde elettriche continuamente prodotte da un cervello vivo) mostra l'alternanza dei pattern caratteristici del sonno o dello stato di veglia. Quando il tracciato è quello tipico dello stato di veglia, i pazienti hanno spesso gli occhi aperti, anche se fissano lo spazio con un'espressione vuota senza dirigere lo sguardo verso oggetti particolari. Questo tipo di attività elettrica non si osserva mai nei pazienti in coma:

una condizione in cui tutti i fenomeni associati alla coscienza (veglia, mente e sé) appaiono assenti.[2]

L'inquietante condizione rappresentata dallo stato vegetativo fornisce informazioni preziose anche su un altro aspetto della distinzione che sto tracciando. In uno studio che giustamente attirò l'attenzione, Adrian Owen riuscì a determinare, usando la risonanza magnetica funzionale, che il cervello di una donna in stato vegetativo presentava configurazioni di attività congruenti con le domande e le richieste specifiche formulate da un esaminatore. Inutile dire che era stata diagnosticata come priva di coscienza. La donna non rispondeva esplicitamente alle domande, non reagiva alle istruzioni impartitele, né dava spontaneamente alcuna prova di possedere una mente attiva. Lo studio della sua risonanza magnetica funzionale mostrava tuttavia che le regioni uditive della sua corteccia cerebrale si attivavano quando le venivano poste delle domande. Il tipo di attivazione ricordava quello che si riscontra in un soggetto normalmente cosciente che reagisca a domande simili. Ancora più impressionante era il fatto che quando si chiedeva alla paziente di immaginare di fare un giro in casa sua, le cortecce cerebrali presentavano una configurazione di attività del tipo osservabile nei soggetti normalmente coscienti che eseguano un compito simile. Sebbene in altre occasioni la donna non abbia più mostrato la medesima attività, da allora è stato studiato un piccolo numero di pazienti nei quali è stata rilevata un'attività simile, anche se non in tutti i tentativi effettuati.[3] Uno di essi, in particolare, grazie a un training ripetuto, riuscì a evocare risposte in precedenza associate a *sì* o *no*.[4]

Questo studio mostra come anche in assenza di qualsiasi comportamento indicativo di uno stato di coscienza, possano esserci segni dell'attività cerebrale comunemente correlata ai processi mentali. In altre parole, le osservazioni dirette sul cervello offrono evidenze compatibili con una qualche conservazione sia dello stato di veglia, sia della mente; per contro, le osservazioni com-

portamentali non rivelano evidenza alcuna del fatto che la coscienza, nel senso prima descritto, accompagni tali operazioni. Questi importanti risultati possono essere prudentemente interpretati nel contesto delle numerose evidenze secondo le quali i processi mentali operano in modo non cosciente (si veda più avanti, in questo capitolo e nel capitolo 11). I risultati sono certamente compatibili con la presenza di un processo della mente e perfino con un processo del sé a livello minimo. Tuttavia, nonostante la loro importanza sia in termini scientifici sia in termini di gestione clinica dei pazienti, sono riluttante a considerare tali risultati come prove di una comunicazione cosciente o come una giustificazione ragionevole per abbandonare la definizione di coscienza discussa in precedenza.

RIMUOVERE IL SÉ CONSERVANDO LA MENTE

Forse l'evidenza più convincente di una separazione fra lo stato di veglia e la mente da un lato, e il sé dall'altro, proviene da un'altra condizione neurologica: l'automatismo epilettico, che può far seguito a certe crisi. In tali situazioni, il comportamento del paziente si interrompe all'improvviso per un breve lasso di tempo in cui l'azione si blocca del tutto; segue poi un periodo, in generale anch'esso breve, durante il quale il soggetto riprende il comportamento attivo ma non dà alcun segno di un normale stato di coscienza. Il paziente, che rimane in silenzio, può muoversi nell'ambiente, ma le sue azioni – per esempio salutare con la mano o uscire da una stanza – non paiono avere uno scopo generale: possono avere un «miniscopo», per esempio prendere un bicchier d'acqua e bere, ma nulla indica che questa finalità in chiave minore sia inserita in un contesto più ampio. Il paziente non fa alcun tentativo di comunicare con l'os-

servatore, né risponde ai tentativi di comunicare messi in atto da quest'ultimo.

Quando ci rechiamo nello studio di un medico, il nostro comportamento rientra in un contesto generale che ha a che fare con gli obiettivi specifici della visita, con il programma generale della nostra giornata, e con i piani e le intenzioni più ampie della nostra vita, su scale temporali diverse, rispetto alle quali la visita può avere o meno una qualche rilevanza. Tutto quello che facciamo, sulla «scena» dello studio medico, prende forma da questi molteplici contenuti, anche se – per comportarci in modo coerente – non occorre che li teniamo tutti in mente. Lo stesso vale per il medico, relativamente al suo ruolo nella stessa scena. In uno stato di coscienza attenuata, invece, tutta l'influenza esercitata dallo sfondo è ridotta a poco o nulla; il comportamento è controllato da stimoli immediati, del tutto avulsi dal contesto più ampio. Se si ha sete, per esempio, l'atto di prendere in mano un bicchiere e di bere ha un senso, e non occorre che quell'azione si connetta a un contesto più ampio.

Ricordo bene il primo paziente in cui osservai questa condizione: lo ricordo perché il suo comportamento mi apparve del tutto inedito, inatteso e inquietante. Nel bel mezzo della nostra conversazione, l'uomo smise di parlare e cessò completamente di muoversi. Il suo volto divenne inespressivo, e i suoi occhi aperti fissavano oltre me, la parete alle mie spalle. L'uomo rimase immobile per diversi secondi. Non cadde dalla sedia, né si addormentò; non ebbe convulsioni né contrazioni. Lo chiamai per nome, ma non ci fu risposta. Quando ricominciò a muoversi un poco, fece schioccare le labbra. Il suo sguardo si spostò e sembrò momentaneamente concentrarsi su una tazza da caffè posata sul tavolo, fra noi due. Sebbene fosse vuota, la prese ugualmente in mano, e fece l'atto di bere. Io insistevo a parlargli, ma lui non rispondeva. Gli chiesi che cosa stesse succedendo, e non rispose. Il suo volto era ancora inespressivo, e non mi guardava. Lo chiamai per nome, ma continuò a non rispondermi. Alla fine si alzò in piedi,

si voltò, e andò lentamente verso la porta. Lo chiamai ancora: si fermò, mi guardò, e il suo volto assunse un'aria perplessa. Lo chiamai di nuovo, e lui disse: « Che c'è? ».

Il paziente aveva avuto una crisi di assenza (un tipo di crisi epilettica), seguita da un periodo di automatismo. Era stato, al tempo stesso, presente e assente: di certo era sveglio, e di sicuro aveva esibito un comportamento; in parte attento e presente fisicamente, come persona era tuttavia un « disperso ». Molti anni dopo descrissi quel paziente come « assente ingiustificato » e quella descrizione rimane calzante.[5]

Senza dubbio l'uomo era sveglio nel pieno senso del termine. Aveva gli occhi aperti, e il tono muscolare gli permetteva di muoversi nella stanza. Senza dubbio compì delle azioni, le quali però non indicavano un piano organizzato. Non aveva uno scopo generale e non riconosceva le circostanze della situazione; il suo comportamento non era appropriato, e le sue azioni presentavano una coerenza minima. Senza dubbio il cervello di quell'uomo stava formando delle immagini mentali, sebbene non si possa fornire alcuna garanzia circa la loro abbondanza o la loro coerenza. Affinché la mano raggiunga una tazza, la prenda, la porti alle labbra e la rimetta sul tavolo, il cervello deve formare immagini – ne deve formare moltissime – quanto meno visive, cinestetiche e tattili; altrimenti la persona non sarebbe in grado di eseguire tutti i movimenti in modo corretto. Se questo depone a favore della presenza della mente, però, non produce alcuna evidenza della presenza di un sé. L'uomo sembrava non sapere chi fosse, dove si trovasse, chi fossi io, e perché fosse lì di fronte a me.

In effetti, non solo mancava ogni prova di una tale conoscenza esplicita: non vi era nemmeno alcuna indicazione di una guida *implicita* del suo comportamento, quella sorta di pilota automatico che ci consente di tornare a casa a piedi, senza concentrarci in modo cosciente sul percorso da seguire. Inoltre, nel comportamento dell'uomo non vi era alcun segno di emozione: una si-

gnificativa indicazione, questa, di una grave compromissione della coscienza.

Casi come questo forniscono prove stringenti, forse a tutt'oggi le uniche definitive, di uno spartiacque fra due funzioni – la veglia e la mente – che rimangono disponibili; e un'altra funzione – il sé – che, comunque si giudichi la situazione, non lo è più. Quell'uomo non aveva alcuna percezione della propria esistenza e aveva una percezione difettosa dell'ambiente circostante.

Come accade molto spesso quando si analizza il comportamento complesso di un essere umano nel momento in cui esso viene disturbato dalla malattia cerebrale, le categorie usate per costruire ipotesi sulla funzione del cervello e per spiegare le osservazioni sono tutt'altro che rigide. Lo stato di veglia e la mente non sono « cose » tutto-o-nulla. Il sé, naturalmente, non è una cosa; è un processo dinamico, mantenuto a livelli ragionevolmente stabili durante gran parte delle nostre ore di veglia e tuttavia – durante quel periodo, soprattutto all'inizio e alla fine – soggetto a variazioni di maggiore e minore entità. Lo stato di veglia e la mente, come sono qui concepiti, sono anch'essi processi, e mai cose rigide. Trasformare i processi in cose è un mero artefatto del nostro bisogno di comunicare agli altri idee complicate, in modo rapido ed efficace.

Nel caso appena descritto, possiamo assumere con sicurezza l'integrità dello stato di veglia e la presenza del processo della mente. Non possiamo dire però quanto fosse ricco tale processo, ma solo che era sufficiente per orientarsi nell'universo limitato che l'uomo stava affrontando. Quanto alla coscienza, chiaramente non era normale.

Come interpretare la situazione di quell'uomo dalla prospettiva di quanto so oggi? Io credo che la sua capacità di assemblare una funzione del sé fosse gravemente compromessa: aveva perso la capacità di generare, istante per istante, la maggior parte delle operazioni che gli avrebbero fornito una supervisione automatica – da legittimo proprietario – della propria mente. Quelle ope-

razioni, accanto a elementi della sua identità, del suo passato recente e del suo futuro programmato, gli avrebbero fornito anche un senso dell'agire. Con ogni probabilità, i contenuti mentali normalmente controllati da un processo del sé erano impoveriti: in quelle circostanze, l'uomo era confinato in un presente senza scopo e decontestualizzato. Il sé, inteso come «me materiale», era andato in larga misura perduto, e – cosa ancor più sicura – altrettanto assente era il sé come conoscitore.

Essere sveglio, avere una mente e avere un sé sono processi cerebrali diversi, costruiti grazie all'attività di componenti cerebrali pure diverse. Ogni giorno, all'interno del nostro cervello, questi processi si fondono senza soluzione di continuità in uno straordinario continuum funzionale, permettendo e rivelando diverse manifestazioni del comportamento. Non si tratta però di «compartimenti» veri e propri; non sono stanze divise da pareti rigide: i processi biologici non sono assolutamente simili agli artefatti umani. Nondimeno – pur nel loro modo di essere biologico, disordinato e confuso – essi sono separabili, e se non cerchiamo di scoprire in che cosa differiscano e dove avvenga la sottile transizione di uno nell'altro, non avremo alcuna probabilità di capire come funzioni l'insieme nel suo complesso.

Sono dell'idea che, se un individuo è sveglio e se nella sua mente sono presenti dei contenuti, la coscienza derivi dall'aggiunta, alla mente, di una funzione del sé che orienta i contenuti mentali in direzione delle sue esigenze, dando così luogo alla soggettività. La funzione del sé non è una sorta di omuncolo onnisciente, ma piuttosto l'emergere, all'interno di quel processo di screening virtuale che noi chiamiamo mente, di un ulteriore elemento virtuale: un immaginario *protagonista* dei nostri eventi mentali.

Sappiamo bene che, quando una malattia neurologica distrugge la coscienza, le risposte emozionali sono assenti, e si può presumere che lo siano anche i sentimenti che a quelle risposte corrispondono. I pazienti con disturbi della coscienza non danno segni di emozione. Il loro volto ha un'espressione vuota, assente. Mancano tutti i piccoli segni di attività muscolare: un aspetto importante visto che perfino una « faccia da poker » è emotivamente animata e tradisce segni sottili di aspettativa, insincerità, disprezzo e simili. I pazienti con una qualsiasi variante di mutismo acinetico o di stato vegetativo, per non parlare dei soggetti in coma, mostrano pochissime espressioni, sempre ammesso che ne presentino. Lo stesso vale per l'anestesia profonda, ma – come è prevedibile – non per il sonno, in cui l'espressione delle emozioni può comparire nelle fasi che consentono la coscienza paradossa.

Da un punto di vista comportamentale, gli stati mentali coscienti degli altri sono contraddistinti da un comportamento di veglia, coerente, diretto a uno scopo, che comprende segni di reazioni emozionali in atto. Molto presto nella nostra vita, sulla base delle descrizioni verbali dirette che udiamo, impariamo che tali reazioni emozionali sono sistematicamente accompagnate dai sentimenti. In seguito, osservando gli esseri umani intorno a noi, assumiamo che essi stiano provando particolari sentimenti anche nel caso in cui non una singola parola sia da loro proferita o a loro indirizzata. In effetti, anche l'espressione emozionale più sottile può svelare, a una mente sensibile, ben sintonizzata ed empatica, la presenza di sentimenti, per quanto silenziosi essi siano. Questo processo di attribuzione dei sentimenti non ha assolutamente nulla a che fare con il linguaggio. È basato sull'osservazione esperta – frutto di addestramento – delle posture e delle espressioni facciali mentre vanno incontro a modificazione.

Perché le emozioni segnalano in modo tanto significativo che la coscienza è presente? Perché l'esecuzione effettiva della maggior parte delle emozioni è opera del grigio periacqueduttale (GPA), in stretta cooperazione con il nucleo del tratto solitario (NTS) e il nucleo parabrachiale (NPB): le strutture che, nell'insieme, generano sentimenti corporei (quali i sentimenti primordiali) e le loro variazioni, che noi chiamiamo «sentimenti delle emozioni». Questo ensemble viene spesso compromesso dalle lesioni neurologiche responsabili della perdita di coscienza; le stesse strutture possono esser rese disfunzionali dall'azione di certi anestetici che ne fanno il proprio bersaglio.

Come vedremo nel capitolo 8, nello stesso modo in cui i segni delle emozioni sono una parte dello stato di coscienza osservabile dall'esterno, così le esperienze dei sentimenti del corpo sono una parte vitale e profonda della coscienza, osservabile in prima persona da un'angolazione introspettiva.

TIPI DI COSCIENZA

La coscienza fluttua. Al di sotto di una certa soglia non è attiva, mentre opera al massimo dell'efficienza in corrispondenza dei vari livelli di quella che possiamo chiamare la sua «scala di intensità». Faremo qualche esempio di questi livelli, che sono molto diversi: in certi momenti, abbiamo sonno e siamo sul punto di cadere fra le braccia di Morfeo; in altri momenti, partecipiamo a un intenso dibattito che richiede un'acuta consapevolezza dei diversi dettagli affioranti nella discussione. Lungo la scala di intensità, la variazione copre tutte le sfumature intermedie fra ottundimento e massima capacità di penetrazione.

Oltre che in base all'intensità, tuttavia, la coscienza può essere valutata anche secondo un altro criterio, le-

gato al suo raggio di estensione, alla sua *portata*. Un raggio minimo consente comunque una percezione del sé, come quando stiamo bevendo una tazza di caffè a casa nostra senza preoccuparci della provenienza della tazza o del caffè, né di come la bevanda influirà sul nostro battito cardiaco, e nemmeno di quello che dobbiamo fare quel giorno. Siamo tranquillamente presenti in quel particolare momento, e questo è tutto. Ora, immaginiamo di essere seduti a bere un'analoga tazza di caffè in un ristorante, in attesa di incontrare nostro fratello che vuole discutere a proposito dell'eredità dei nostri genitori e del comportamento da tenere con una sorellastra che ha agito in modo strano. Anche in questo caso siamo molto presenti e completamente calati nella situazione, come direbbero a Hollywood, tuttavia ora siamo trasportati in molti altri luoghi, uno dopo l'altro, insieme a molte altre persone oltre a nostro fratello, e proiettati in situazioni che non abbiamo ancora vissuto ma che sono frutto della nostra immaginazione, ricca e bene informata. Frammenti e spezzoni della nostra vita passata, rapidamente resi disponibili, si offrono alla rievocazione; e nell'esperienza del momento entrano anche frammenti e spezzoni di quello che la nostra vita potrebbe (o non potrebbe) diventare, immaginati in passato o adesso. Ci troviamo in tutti i luoghi e in molte epoche trascorse e future della nostra vita. Ma noi – il *me* che è in noi – non usciamo mai dalla vista. Tutti questi contenuti sono inestricabilmente legati a un singolo punto di riferimento. Anche se ci concentriamo su un evento remoto, la connessione resta: il centro tiene. Questa è la coscienza ad ampio raggio, di vasta portata – uno dei grandiosi risultati del cervello umano e uno dei tratti definitori dell'umanità. Questo è il tipo di processo cerebrale che ci ha portato alla civiltà, nel punto in cui siamo, nel bene e nel male. Questo è il tipo di coscienza illustrata nelle opere letterarie, cinematografiche e musicali, la coscienza celebrata dalla riflessione filosofica.

Io ho dato un nome a questi due tipi di coscienza:

quella caratterizzata da una portata minima è la coscienza *nucleare*, la percezione del qui e ora, libera dal peso di troppo passato, e gravata da poco o nessun futuro. Essa ruota intorno a un sé nucleare e riguarda la personalità ma non necessariamente l'identità. La coscienza di vasta portata è invece quella che io chiamo *estesa* o *autobiografica*, giacché si manifesta nel modo più intenso quando entra in gioco una parte sostanziale della vita dell'individuo e quando le sue attività sono dominate sia dal passato vissuto, sia dal futuro anticipato. Essa riguarda al tempo stesso la personalità e l'identità ed è presidiata da un sé autobiografico.

Molto spesso, quando pensiamo alla coscienza, abbiamo in mente quella di vasta portata, associata a un sé autobiografico. La mente dotata di questo tipo di coscienza si allarga e abbraccia senza sforzo contenuti reali e immaginari. Le ipotesi circa il modo in cui il cervello produce gli stati coscienti devono prendere in considerazione la coscienza sia a questo livello elevato, sia al livello nucleare.

Oggi ritengo che le variazioni di portata della coscienza siano di gran lunga più erratiche di come le immaginavo un tempo; quella portata va costantemente allargandosi o restringendosi come se fosse controllata da un cursore. Gli spostamenti, in un senso o nell'altro, possono aver luogo *all'interno* di un dato evento, molto rapidamente, a seconda del bisogno. Questa fluidità e questo dinamismo della portata della coscienza non sono poi così diversi dai rapidi cambiamenti di intensità che come sappiamo hanno luogo nel corso della giornata e dei quali abbiamo già parlato. Quando durante una conferenza ci annoiamo, la nostra coscienza si smorza e possiamo addirittura appisolarci, perdendola del tutto. Mi auguro che questo non stia capitando proprio adesso ai miei lettori.

Il punto di gran lunga più importante è che i livelli di coscienza fluttuano seguendo l'andamento della situazione. Per esempio, quando ho distolto lo sguardo dalla

pagina per mettermi a pensare, e i delfini che mi nuotavano vicino hanno catturato la mia attenzione, io non stavo impegnando il mio sé autobiografico in tutta la sua portata, perché non ne avevo alcun bisogno; viste le esigenze del momento, sarebbe stato uno spreco, sia di capacità di elaborazione cerebrale, sia di energia. Del resto, il sé autobiografico non mi serviva neanche per far fronte ai pensieri che hanno preceduto la scrittura delle frasi qui sopra. Se però un intervistatore mi si siede di fronte e vuole sapere come e perché sono diventato un neurologo e un neuroscienziato e non un ingegnere o un regista, ecco che devo impegnare il mio sé autobiografico. In tal caso, il mio cervello soddisfa quell'esigenza.

Il livello di coscienza cambia rapidamente anche quando sogniamo ad occhi aperti, una cosa che ora va di moda chiamare *mind-wandering*: vagare con la mente, divagare. Potrebbe allo stesso modo essere chiamata *self-wandering*, vagare con il sé, dal momento che i sogni a occhi aperti richiedono non solo una digressione rispetto ai contenuti dell'attività in corso, ma anche una discesa al livello del sé nucleare. I prodotti della nostra immaginazione «offline» affiorano in primo piano: progetti, occupazioni, fantasie... il tipo di immagini che prolifera quando siamo bloccati in tangenziale. Tuttavia, la coscienza «online» ridotta al sé nucleare e distratta verso un altro argomento è ancora una coscienza normale. Lo stesso non si può dire della coscienza dei sonnambuli, o di chi è sotto ipnosi o sperimenta sostanze che «alterano la mente». Nel caso di queste ultime, il repertorio degli stati di coscienza risultanti è lungo e vario e comprende le aberrazioni più creative della mente e del sé. Anche lo stato di veglia può disintegrarsi: il punto d'arrivo fin troppo comune di queste avventure è rappresentato dal sonno o dallo stupore.

In conclusione, il grado in cui il sé protagonista è presente nella nostra mente varia moltissimo a seconda del-

le circostanze, passando da una rappresentazione di chi noi siamo molto dettagliata e perfettamente contestualizzata, a un vago indizio del fatto che possediamo la nostra mente, i nostri pensieri e le nostre azioni. Devo tuttavia insistere sull'idea che, anche nella sua forma più esile e vaga, il sé è una presenza necessaria nella mente. Affermare che quando sto scalando una montagna, o quando sto scrivendo questa frase, il sé non possa in alcun modo essere rintracciato non è assolutamente corretto. In queste circostanze, di sicuro esso non occupa una posizione di primo piano; si ritira convenientemente sullo sfondo e lascia spazio, nel nostro cervello impegnato a creare immagini, a tutte le altre cose che necessitano spazio di elaborazione (per esempio la superficie della roccia, oppure i pensieri che voglio affidare alla pagina). Mi arrischio però a dire che se il processo del sé dovesse venir meno e scomparire del tutto, la mente sarebbe disorientata e perderebbe la capacità di raccogliere le proprie componenti. I pensieri andrebbero a ruota libera, senza essere rivendicati da un proprietario. La nostra efficacia nell'interagire con il mondo reale crollerebbe a livelli minimi o si annullerebbe del tutto, e a chi ci osservasse noi appariremmo perduti. Che aspetto avremmo? Appariremmo privi di coscienza, incoscienti.

Temo che non sia facile trattare il sé perché, a seconda della prospettiva adottata, può essere moltissime cose. Può essere un «oggetto» di ricerca per psicologi e neuroscienziati; può essere una fonte di conoscenza per la mente in cui emerge; può essere una presenza appena avvertita e ritirarsi dietro un sipario, oppure una presenza assertiva, proprio sotto le luci di scena; può essere confinato al qui e ora, oppure abbracciare la storia d'una vita intera; infine, alcuni di questi diversi registri possono mescolarsi, come quando un sé conoscitore ha una qualità autobiografica pur essendo quasi impercettibile; o quando è presente in modo prominente, ma interessato soltanto al qui e ora. Il sé è davvero una festa mobile.

Proprio come la coscienza non è una cosa, i suoi diversi tipi – nucleare ed estesa/autobiografica – non sono categorie rigide. Ho sempre immaginato molte gradazioni fra i due estremi della scala. L'introduzione di questi diversi tipi di coscienza ha tuttavia un vantaggio pratico: ci consente di suggerire che i gradini più bassi della scala della coscienza non siano affatto un'esclusiva umana. Con ogni probabilità, sono presenti in numerose specie diverse dalla nostra, purché in possesso di un cervello abbastanza complesso per costruirli. Il fatto che la coscienza umana, nella sua forma più alta, sia immensamente complicata, di vasta portata e pertanto *distintiva* è talmente ovvio che non occorre parlarne. Il lettore rimarrebbe sorpreso tuttavia nel constatare come in passato alcune mie osservazioni analoghe abbiano offeso certe persone: o perché stavo attribuendo troppo poca coscienza alle specie non umane, o perché stavo sminuendo la natura eccezionale della coscienza umana estendendola anche agli animali. Auguratemi buona fortuna, quindi...

Nessuno è in grado di dimostrare in modo soddisfacente che gli esseri non umani e privi di linguaggio abbiano una coscienza, nucleare o d'altra natura; tuttavia, è ragionevole triangolare le evidenze sostanziali a nostra disposizione e concludere che si tratta di un'evenienza altamente probabile.

La triangolazione dovrebbe procedere in questo modo: 1) se una specie presenta comportamenti spiegati meglio ammettendo un cervello con processi mentali, invece che con mere disposizioni per l'azione (come i riflessi); e 2) se la specie ha un cervello con tutte le componenti descritte nei prossimi capitoli come necessarie per dotare la mente umana di coscienza; 3) allora, caro lettore, quella specie è cosciente. In fondo, io sono pronto a interpretare ogni manifestazione del comportamento animale tale da indicare la presenza dei senti-

menti come segno del fatto che la coscienza non può essere molto lontana.

La coscienza nucleare non necessita del linguaggio, e deve averlo preceduto: nelle specie non umane – ovviamente – ma anche negli esseri umani. Probabilmente, in individui privi di una coscienza nucleare, il linguaggio non sarebbe evoluto. Perché mai avrebbero dovuto averne bisogno? Al contrario, ai livelli più alti della scala, la coscienza autobiografica fa in larghissima misura affidamento sul linguaggio.

QUELLO CHE LA COSCIENZA NON È

Per comprendere il significato della coscienza, e i vantaggi del suo emergere negli esseri viventi, occorre avere una misura completa della situazione che la precedette: in altre parole, dobbiamo farci un'idea di quello che gli esseri viventi con cervelli normali e menti completamente funzionali erano in grado di fare prima che la loro specie possedesse una coscienza e prima che quest'ultima arrivasse a dominare la vita mentale del suo possessore. Di fronte alla dissoluzione della coscienza in un paziente epilettico o in chi si trovi in stato vegetativo, un osservatore ingenuo potrebbe farsi l'idea sbagliata che i processi normalmente al di sotto del livello della coscienza siano banali o di efficacia limitata. È chiaro però che lo spazio inconscio della nostra stessa mente nega un'idea simile. Qui mi riferisco non solo all'inconscio freudiano (la cui tradizione è celebre nel bene e nel male), identificato con particolari tipi di contenuto, contesto e processo. Mi riferisco piuttosto al vasto inconscio costituito da due ingredienti: uno attivo, composto da tutte le immagini formate su qualsiasi argomento e di qualsiasi sentore, immagini che forse non possono competere per aggiudicarsi l'attenzione del sé e pertanto rimangono in larga misura sconosciute; e

uno silente, costituito dal deposito di registrazioni codificate, dal quale possono essere formate immagini esplicite.

Un tipico fenomeno da cocktail party rivela benissimo la presenza della componente non cosciente. Mentre siamo impegnati in una conversazione con un ospite, noi stiamo tecnicamente *udendo* altre conversazioni – un frammento qui, un frammento lì – proprio ai margini del flusso di coscienza, o per meglio dire, del flusso *principale.* Udire, però, non significa necessariamente ascoltare, e meno che mai ascoltare con attenzione e sintonizzarsi su quanto viene udito. Perciò si sentono inavvertitamente molte cose che non richiedono le prestazioni del nostro sé. Poi, tutt'a un tratto, scatta qualcosa, un frammento di conversazione si unisce a tutti gli altri, ed ecco emergere uno schema razionale riguardante alcune delle cose che stavamo ascoltando senza farci coinvolgere. In quell'istante prende forma un significato che «attrae» il sé e che letteralmente ci allontana dalle parole del nostro ospite. Il quale si accorge della nostra momentanea distrazione, e così – respingendo l'argomento che sta penetrando il flusso della nostra coscienza – ecco che torniamo all'ultimo concetto ribadito da quel signore e, senza troppa convinzione, con l'aria di giustificarci, gli chiediamo: «Mi scusi, può ripetere?».

Per quanto se ne sa, questo fenomeno è la conseguenza di diverse circostanze. In primo luogo, il cervello produce in continuazione una quantità sovrabbondante di immagini. Quello che vediamo, udiamo e tocchiamo, insieme a quello che costantemente andiamo rievocando – stimolati da nuove immagini percettive, ma anche senza alcuna ragione identificabile –, è responsabile di un gran numero di immagini esplicite, accompagnate da un corteo, ugualmente folto, di altre immagini riguardanti lo stato in cui si trova il corpo durante tutta questa attività.

In secondo luogo, il cervello tende a organizzare questa profusione di materiale proprio come farebbe un

montaggista, conferendole un qualche tipo di struttura narrativa coerente in base alla quale certe azioni causano certi effetti. Ciò richiede la *selezione* delle immagini giuste, il loro *ordinamento* in una sequenza di unità temporali e quadri spaziali: non è un compito facile, poiché dalla prospettiva del loro proprietario non tutte le immagini sono uguali. Rispetto ai suoi bisogni, alcune sono più rilevanti di altre, e pertanto sono accompagnate da sentimenti diversi. Le immagini hanno un valore diverso. Per inciso, quando dico «il cervello tende a organizzare» invece che «il sé organizza» lo faccio di proposito. In alcune occasioni il lavoro di montaggio procede in modo spontaneo, con una minima guida da parte del sé. In queste circostanze, la riuscita dell'operazione dipende da come i nostri processi non consci sono stati «ben istruiti» dal nostro sé maturo. Tornerò su questo punto nell'ultimo capitolo.

In terzo luogo, a ogni istante solo un piccolo numero di immagini può essere mostrato chiaramente – può essere attivo e quindi ricevere attenzione –, perché lo spazio delle immagini è molto scarso. Il significato reale di tutto questo è che gli «schermi» metaforici sui quali il nostro cervello mostra le immagini selezionate e ordinate cronologicamente sono molto limitati. Nell'odierno gergo informatico, significa che il numero di finestre che possiamo aprire sullo schermo del pc è limitato. (Nell'èra digitale, in particolare nella generazione diventata adulta confrontandosi con il *multitasking*, il limite superiore dell'attenzione, nel cervello umano, si sta rapidamente innalzando: un fenomeno che probabilmente in un futuro non troppo lontano modificherà alcuni aspetti della coscienza – sempre che non l'abbia già fatto. Infrangere i limiti dell'attenzione comporta ovvi benefici, e le abilità associative generate dal *multitasking* sono un vantaggio straordinario; possono tuttavia esserci alcuni costi compensativi in termini di apprendimento, consolidamento della memoria ed emozione. Non abbiamo idea di quali possano essere tali costi).

Questi tre vincoli (abbondanza di immagini, tendenza a organizzarle in narrazioni coerenti e scarsità di spazio per la visualizzazione esplicita) si sono affermati da tempo nell'evoluzione e hanno imposto l'adozione di strategie di gestione efficaci che impedissero loro di recar danno all'organismo. Considerando che nel corso dell'evoluzione la selezione naturale favorì la creazione di immagini perché esse permettono di valutare l'ambiente in modo più preciso e quindi di rispondere meglio a esso, probabilmente la gestione strategica delle immagini evolse precocemente molto prima della coscienza, procedendo in modalità *bottom-up*, dal basso verso l'alto. La strategia fu quella di selezionare automaticamente le immagini più preziose per la gestione dei processi vitali in corso: lo stesso identico criterio che presiede alla selezione naturale dei dispositivi per la creazione di immagini. Considerando la loro importanza per la sopravvivenza, le immagini più preziose furono « messe in risalto » tramite la loro associazione con fattori emozionali. Probabilmente il cervello ottiene questo effetto generando uno stato emozionale che accompagna l'immagine, in una traccia parallela. L'intensità dell'emozione serve da « marcatore » per l'importanza relativa dell'immagine. Questo è il meccanismo descritto nell'ipotesi del « marcatore somatico »:[6] non occorre che quest'ultimo sia un'emozione completamente sviluppata, esperita esplicitamente come sentimento (questa è la « sensazione viscerale »); può essere invece un segnale implicito, legato all'emozione, di cui il soggetto è inconsapevole, nel qual caso ci riferiamo a esso come a un *pregiudizio*. L'idea dei marcatori somatici è applicabile non soltanto ai livelli più elevati della cognizione, ma anche a questi stadi precoci dell'evoluzione. L'ipotesi del marcatore somatico offre un meccanismo per spiegare in primo luogo il modo in cui il cervello eseguirebbe una selezione delle immagini sulla base del valore, e in secondo luogo il modo in cui quella selezione si tradurrebbe in una sequenza continua di immagini oppor-

tunamente montate. In altre parole, il principio usato per la selezione delle immagini fu connesso alle esigenze di gestione dei processi vitali. Ho il sospetto che lo stesso principio presiedesse all'organizzazione delle strutture primordiali della narrazione, comprendenti il corpo dell'organismo, il suo status, le sue interazioni e i suoi movimenti nell'ambiente.

Io sostengo che tutte le strategie sopra delineate cominciarono a evolvere molto tempo prima che emergesse una coscienza, non appena fu creato un numero sufficiente di immagini, forse non appena iniziarono a fiorire vere e proprie menti. Con ogni probabilità, il vasto inconscio ha fatto parte dell'organizzazione della vita per un lungo – lunghissimo – tempo, e il fatto curioso è che è ancora con noi, come una sorta di immenso sotterraneo al di sotto della nostra limitata esistenza cosciente.

Per quale motivo la coscienza si affermò, una volta che venne offerta agli organismi quale possibile opzione? Perché i dispositivi cerebrali in grado di costruire la coscienza furono favoriti dalla selezione naturale? Una possibile risposta, che esamineremo alla fine del libro, è che generare, orientare e organizzare immagini del corpo e del mondo esterno considerandole in termini di esigenze dell'organismo aumentò la probabilità di una gestione efficiente dei processi vitali e di conseguenza le probabilità di sopravvivenza. La coscienza aggiunse infine la possibilità di *conoscere* l'esistenza dell'organismo e la sua lotta per la sopravvivenza. Ovviamente, tale conoscenza dipendeva non soltanto dalla creazione e dalla visualizzazione di immagini esplicite, ma anche dalla loro archiviazione sotto forma di registrazioni implicite. La conoscenza stabiliva una connessione fra la lotta per l'esistenza e un organismo unificato e identificabile. Una volta che questi stati di conoscenza cominciarono a essere affidati alla memoria, fu possibile metterli in relazione con altri fatti registrati, e cominciare così ad accumulare conoscenze sull'esistenza individuale. A loro volta, le immagini contenute nella conoscenza potevano es-

sere richiamate e manipolate in un processo di ragionamento che preparò la via alla riflessione e alla deliberazione. L'apparato di elaborazione delle immagini poté allora essere guidato dalla riflessione e usato per *l'anticipazione efficace delle situazioni, la previsione dei loro possibili esiti, l'orientamento nel futuro possibile e l'invenzione di soluzioni per la gestione della vita.*

La coscienza permise all'organismo di diventare consapevole della propria condizione. L'organismo non aveva più meri sentimenti che potevano essere *sentiti*; aveva sentimenti che potevano essere *conosciuti*, in un particolare contesto. La conquista della conoscenza – in contrapposizione all'essere e al fare – fu un punto di svolta cruciale.

Precedentemente alla comparsa del sé e della coscienza normale, gli organismi avevano già perfezionato un apparato per la regolazione della vita, al di sopra del quale venne poi aggiunta la coscienza. Alcune premesse erano già presenti prima di essere conosciute dalla mente cosciente, e l'apparato della regolazione dei processi vitali era evoluto intorno a esse. La differenza fra la regolazione della vita prima e dopo che comparisse la coscienza ha semplicemente a che fare con la differenza fra automazione e deliberazione. Prima della coscienza, la regolazione della vita era interamente automatica; una volta affiorata la coscienza, la regolazione conserva la sua automaticità, ma va gradualmente spostandosi sotto l'influenza della deliberazione orientata sul sé.

Le fondamenta dei processi della coscienza sono pertanto gli stessi processi inconsci responsabili della regolazione della vita: le disposizioni cieche che regolano le funzioni metaboliche e che hanno sede nei nuclei del tronco encefalico e nell'ipotalamo; le disposizioni che erogano ricompense e punizioni e promuovono impulsi, motivazioni ed emozioni; e l'apparato per la creazione delle mappe che costruisce immagini sia a livello per-

cettivo, sia richiamandole alla memoria, apparato in grado di scegliere e montare quelle immagini nel film che noi conosciamo come mente. Sebbene non sia che l'ultima arrivata nella gestione dei processi vitali, la coscienza sposta tutto il gioco a un livello più alto. Abilmente, essa conferma al loro posto i vecchi meccanismi, lasciando che continuino a svolgere compiti senza troppe pretese.

L'INCONSCIO FREUDIANO

Il contributo più interessante di Freud alla coscienza si trova nel suo ultimo articolo, scritto nella seconda metà del 1938 e ancora incompiuto alla morte dell'autore.[7] L'ho letto solo recentemente, sollecitato dall'invito a tenere una conferenza su Freud e le neuroscienze. È quel tipo di incombenza che bisognerebbe energicamente declinare; io invece mi lasciai tentare e accettai. Trascorsi intere settimane a studiare gli scritti di Freud, oscillando fra l'irritazione e l'ammirazione, come sempre mi capita quando leggo le sue opere. Alla fine di questa gran fatica arrivai a quell'ultimo articolo, scritto a Londra, nel quale Freud adotta l'unica posizione sulla questione della coscienza che io trovi plausibile. La mente è un risultato del tutto naturale dell'evoluzione ed è in larga misura non cosciente, interna e celata: arriva a essere conosciuta grazie alla stretta finestra della coscienza. Questa è esattamente la mia prospettiva. La coscienza offre un'esperienza diretta della mente, ma l'agente dell'esperienza è un sé, ovvero un informatore interno e imperfettamente costruito, non un osservatore esterno attendibile. Il fatto che la mente sia radicata nel cervello non può essere apprezzato in maniera diretta né dall'interno (dall'osservatore naturale), né dall'esterno (dallo scienziato). Il radicamento della mente nel cervello deve essere immaginato nella quarta prospettiva, ed è su quella base che andranno formulate le ipotesi.

Per avvicinarsi a un tale obiettivo, è necessario un programma di ricerca.

Sebbene l'inconscio di Freud fosse un'idea dominata dal sesso, egli era consapevole dell'immensa portata e del potere dei processi mentali che hanno luogo sotto la superficie della coscienza. Freud, per inciso, non era isolato, giacché nel pensiero psicologico dell'ultimo quarto dell'Ottocento l'idea dell'elaborazione inconscia era molto diffusa. Né Freud era isolato nelle sue incursioni nel tema del sesso, una materia le cui basi scientifiche erano anch'esse oggetto di esplorazione in quel periodo.[8]

Quando si concentrò sui sogni, Freud mise certamente le mani su una ricca fonte di dati. Quella mossa servì benissimo ai suoi scopi, in quanto gli fornì il materiale per i suoi studi. A quella stessa fonte hanno attinto anche artisti, compositori, scrittori e ogni genere di menti creative alla ricerca di immagini originali, che cerchino di liberare se stesse dai ceppi della coscienza. È qui in gioco una tensione assai interessante: menti creative molto coscienti vanno consapevolmente alla ricerca dell'inconscio come fonte e, in qualche caso, come metodo per le loro imprese coscienti. Questo non contraddice in alcun modo l'idea che la creatività non possa essere sbocciata – e meno che mai fiorita – in assenza della coscienza. Semplicemente, sottolinea quanto la nostra vita mentale sia straordinariamente ibrida e flessibile.

Nei sogni, in quelli belli come negli incubi, il ragionamento è a dir poco allentato, e mentre la causalità può essere rispettata, l'immaginazione si libera dei freni – e tanto peggio per la realtà. I sogni offrono, tuttavia, un'evidenza diretta dei processi mentali non coadiuvati dalla coscienza. La profondità dell'elaborazione inconscia alla quale essi attingono è considerevole. Per chi è riluttante ad accettarlo, gli esempi più convincenti probabilmente scaturiscono dai sogni legati alle semplici questioni di regolazione dei processi vitali. Un esempio è quello di chi, dopo una cena a base di cibi molto salati,

fa sogni elaborati sull'acqua fresca e la sete. Qui mi pare di sentire il lettore chiedere: *che cosa intende quando dice che durante i sogni la mente «non è coadiuvata dalla coscienza»? Non è forse vero che se è possibile ricordare un sogno vuol dire che si era coscienti durante il suo svolgimento?* Be', in molti casi questo è vero. Durante i sogni è presente un qualche tipo di coscienza anomala, definita in modo appropriato dal termine *paradossa.* Quello che sto sostenendo, però, è che nel sogno il processo dell'immaginazione non sia guidato da un sé regolare, funzionante in modo appropriato, dello stesso tipo di cui ci serviamo quando riflettiamo e deliberiamo. (L'eccezione è costituita dai cosiddetti sogni lucidi, che il sognatore ben addestrato riesce, in una certa misura, a dirigere). La nostra mente, conscia o meno che sia, è probabilmente *regolata* dal mondo esterno, i cui input contribuiscono all'organizzazione dei suoi contenuti. Una volta privata di quel battistrada esterno, per la mente sarebbe facile perdersi nei sogni.[9]

Quella del ricordare o meno i sogni è una *vexata quaestio.* Noi sogniamo moltissimo, diverse volte per notte, sia quando ci troviamo nella fase di sonno REM (movimenti oculari rapidi) sia – sebbene molto meno – durante le fasi di sonno a onde cerebrali lente, note come «sonno non REM». Sembra tuttavia che ricordiamo meglio i sogni che hanno luogo quando stiamo per riprendere coscienza e riaffioriamo, più o meno gradualmente, in superficie.

Io cerco con tutte le mie forze di ricordare i sogni che faccio; a meno che non li metta per iscritto, però, essi svaniscono senza lasciare traccia: è sempre stato così. La cosa non sorprende troppo se pensiamo che, quando ci svegliamo, l'apparato di consolidamento della memoria è a malapena attivato, come il forno di un panettiere appena acceso all'alba.

L'unico tipo di sogno che di solito ricordavo un po' meglio, forse a causa della sua frequenza, era un incubo ricorrente, non troppo inquietante, che mi si presentava

alla vigilia di una conferenza. Erano tutte variazioni sullo stesso tema: sono in ritardo, spaventosamente in ritardo, e mi manca qualcosa di essenziale. O le mie scarpe sono introvabili; oppure, sul mio viso, quella che dovrebbe essere un'ombra quasi impercettibile si sta trasformando in una barba di due giorni, e in giro non c'è traccia del rasoio; o ancora, l'aeroporto è chiuso per nebbia e io sono rimasto a terra. Sono tormentato e a volte imbarazzato, come quando (nel sogno, naturalmente) sono salito a parlare sul podio con un bell'abito di Armani ma a piedi scalzi. Ecco perché, in albergo, rinuncio a farmi lucidare le scarpe, e non le lascio mai fuori dalla camera.

8
LA COSTRUZIONE DI UNA MENTE COSCIENTE

UN'IPOTESI DI LAVORO

Non occorre dire che la costruzione di una mente cosciente è un processo di grande complessità, risultato di aggiunte e delezioni di meccanismi cerebrali avvenute nel corso di milioni di anni di evoluzione biologica: una complessità che non può trovare spiegazione in un singolo dispositivo o singolo meccanismo, quale che sia. Prima che si possa tentare una descrizione generale è necessario trattare separatamente, come esse meritano, le diverse parti del puzzle della coscienza.

Nondimeno, è utile cominciare con un'ipotesi generale, articolata in due parti. La prima stabilisce che il cervello costruisce la coscienza generando un processo del sé all'interno di una mente in stato di veglia. L'essenza del sé sta nella concentrazione della mente sull'organismo materiale in cui essa ha sede. Lo stato di veglia e la mente sono componenti indispensabili della coscienza, ma il suo elemento distintivo è il sé.

Nella sua seconda parte, l'ipotesi propone che il sé sia costruito per gradi. Lo stadio più semplice emerge dalla parte del cervello che rappresenta l'organismo (il *proto-sé*); essa consiste di un insieme di immagini che descrivono aspetti relativamente stabili del corpo e generano

sentimenti spontanei (sentimenti primordiali) riferiti al corpo vivente. Il secondo stadio risulta dall'instaurarsi di una relazione fra l'*organismo* (rappresentato dal proto-sé) e qualsiasi parte del cervello rappresenti un *oggetto-da-conoscere*. Il risultato è il *sé nucleare*. Il terzo stadio, infine, consente l'interazione con il proto-sé di molteplici oggetti – precedentemente registrati come esperienza vissuta o come futuro anticipato – e genera abbondanti pulsazioni del sé nucleare: il risultato è il *sé autobiografico*. Tutti e tre gli stadi sono costruiti in spazi di lavoro cerebrali distinti ma coordinati: si tratta degli spazi delle im-

PRIMO STADIO: IL PROTO-SÉ

Il proto-sé è una descrizione neurale di aspetti relativamente stabili dell'organismo.
Il prodotto principale del proto-sé consiste nei sentimenti spontanei del corpo che vive (*sentimenti primordiali*).

SECONDO STADIO: IL SÉ NUCLEARE

Quando il proto-sé viene modificato dall'interazione fra l'organismo e un oggetto e quando, di conseguenza, le immagini dell'oggetto vengono anch'esse modificate, si genera una pulsazione del sé nucleare.
Le immagini modificate dell'oggetto e dell'organismo sono temporaneamente legate in una configurazione coerente.
La relazione fra l'organismo e l'oggetto è descritta in una sequenza narrativa di immagini, alcune delle quali sono sentimenti.

TERZO STADIO: IL SÉ AUTOBIOGRAFICO

Il sé autobiografico affiora quando gli oggetti presenti nella biografia generano pulsazioni del sé nucleare che sono poi temporaneamente collegate in una configurazione coerente su grande scala.

Tabella 8.1 I tre stadi del sé.

magini, l'arena in cui sia la percezione in corso, sia le disposizioni contenute nelle regioni di convergenza-divergenza esercitano la loro influenza.

Per fornire uno scenario, e prima di presentare i diversi meccanismi ipotetici necessari affinché l'ipotesi di lavoro generale possa trovare attuazione, diciamo che da un punto di vista evolutivo il processo del sé cominciò a manifestarsi solo *dopo* che la mente e lo stato di vigilanza si erano consolidate come operazioni del cervello. I processi del sé si rivelarono efficaci soprattutto per orientare la mente verso le esigenze omeostatiche dell'organismo, organizzandola in tal senso e aumentando così le probabilità di sopravvivenza. Non sorprende dunque che i processi del sé siano stati favoriti dalla selezione naturale e si siano affermati nell'evoluzione; probabilmente, nei primissimi stadi, non generarono una coscienza nel senso pieno del termine e rimasero confinati al livello del proto-sé. Negli stadi successivi dell'evoluzione, livelli più complessi del sé – a partire da quello nucleare – cominciarono a generare la soggettività all'interno della mente e a soddisfare i requisiti della coscienza. In seguito, furono impiegati edifici ancor più complessi per ottenere e accumulare ulteriori conoscenze circa i singoli organismi e il loro ambiente. La conoscenza veniva depositata sia in memorie interne al cervello, nelle regioni di convergenza-divergenza, sia in memorie registrate esternamente, negli strumenti della cultura. La coscienza nel senso più pieno del termine emerse dopo che questa conoscenza venne categorizzata, simbolizzata in varie forme (compreso il linguaggio ricorsivo) e manipolata dall'immaginazione e dal ragionamento.

Sono opportune, qui, altre due precisazioni. In primo luogo, i livelli distinti di elaborazione – la mente, la mente cosciente e la mente cosciente capace di produrre cultura – emersero in sequenza. Questo tuttavia non dovrebbe dare l'impressione che, una volta acquisito il sé,

la mente abbia smesso di evolvere come tale, né che abbia smesso di evolvere il sé. Al contrario, il processo evolutivo proseguì, e prosegue tuttora, semmai arricchito e accelerato dalle pressioni create dalla conoscenza di se stessi, e non se ne scorge la fine. L'attuale rivoluzione digitale, la globalizzazione dell'informazione culturale e l'inizio dell'èra dell'empatia sono pressioni che probabilmente porteranno a modificazioni strutturali della mente e del sé (ovvero modificazioni di quegli stessi processi cerebrali che plasmano entrambi).

In secondo luogo, d'ora in avanti, affronteremo il problema della costruzione di una mente cosciente dalla prospettiva della specie umana, benché ogniqualvolta sarà possibile e appropriato faremo riferimento anche ad altre specie.

L'APPROCCIO AL CERVELLO COSCIENTE

L'approccio agli aspetti neuroscientifici della coscienza ha spesso luogo non dal sé ma dalla componente della mente.[1] La decisione di accostarsi invece alla coscienza attraverso il sé non vuole sminuire, e meno che mai trascurare, la complessità e la portata della mente come tale. D'altra parte, riconoscere il massimo rilievo al processo del sé è coerente con la prospettiva che abbiamo adottato fin dall'inizio, secondo la quale, se la mente cosciente si affermò nell'evoluzione, è perché ottimizzò la regolazione dei processi vitali. In ogni mente cosciente, il sé è il primo rappresentante dei meccanismi individuali di regolazione della vita, il guardiano e l'amministratore del valore biologico. L'immensa complessità cognitiva che caratterizza l'attuale mente cosciente degli esseri umani è in larga misura motivata e orchestrata dal sé come un sostituto del valore.

Quali che siano le preferenze di studio di ciascuno riguardo alla triade costituita da stato di veglia, mente e

sé, è chiaro che il mistero della coscienza non risiede nel primo. Anzi, sugli aspetti neuroanatomici e neurofisiologici alla base del processo di veglia disponiamo di conoscenze considerevoli, e forse non è una coincidenza che la storia della ricerca su cervello e coscienza sia iniziata proprio muovendo dallo stato di veglia.[2]

La seconda componente nella triade della coscienza è la mente, e anche per quanto riguarda la sua base neurale non brancoliamo nel buio: come abbiamo visto nel capitolo 3, sebbene rimangano molti interrogativi, qualche progresso l'abbiamo fatto. Resta dunque il terzo, fondamentale componente della triade, il sé, il cui studio è spesso rimandato con la motivazione che è troppo complicato da affrontare, visto lo stadio attuale delle nostre conoscenze. In larga misura, questo capitolo e il prossimo trattano del sé e offrono una descrizione generale dei meccanismi per crearlo e inserirlo nella mente in stato di veglia. L'obiettivo è di identificare le strutture e i meccanismi neurali forse in grado di generare i processi del sé, i quali spaziano dal tipo più semplice, che orienta il comportamento in modo adattativo, alla varietà complessa in grado di conoscere l'esistenza del proprio organismo e di guidarne quindi la vita.

UN'ANTEPRIMA DELLA MENTE COSCIENTE

Tra i molti livelli del sé, il più complesso tende a toglierci la visuale su quelli più semplici, dominando la nostra mente con un'esuberante esibizione di conoscenza. Noi, però, possiamo cercare di ovviare a questo naturale offuscamento, facendo buon uso di tutta questa complessità. In che modo? Chiedendo ai livelli complessi del sé di *osservare* che cosa accade ai livelli più semplici. Questo è un esercizio difficile, non scevro da rischi. L'introspezione, come abbiamo visto, può fornire informazioni fuorvianti. Tuttavia, vale senz'altro la pena di correre il

rischio, poiché essa ci offre l'unica possibilità di avere una visuale diretta di ciò che desideriamo spiegare. Se poi l'informazione che raccoglieremo dovesse portarci a formulare ipotesi difettose, le future verifiche empiriche ne riveleranno la fallacia. Vi è inoltre un aspetto intrigante: emerge infatti che impegnarsi nell'introspezione è una sorta di traduzione, all'interno della mente, di un processo che il cervello nella sua complessità ha intrapreso da lungo tempo nel corso dell'evoluzione: parlare a se stesso, sia letteralmente, sia nel linguaggio dell'attività neuronale.

Guardiamo allora nella nostra mente cosciente e cerchiamo di osservarla, di vedere come essa è, alla base delle sue numerose stratificazioni, spogliate del fardello dell'identità, del passato vissuto e del futuro anticipato: la mente cosciente, qui e ora. Naturalmente non posso parlare per tutti, ma ecco quanto emerge dalla mia ricognizione. Tanto per cominciare, alla base, la semplice mente cosciente non è diversa da quello che William James descrive come un fiume che scorre trascinando con sé degli oggetti, i quali, però, non hanno tutti la stessa rilevanza. Alcuni sono come ingranditi, altri no. Essi, inoltre, non sono disposti tutti allo stesso modo rispetto a me: alcuni sono collocati in una certa prospettiva nei confronti di un «me materiale» che, per buona parte del tempo, io posso addirittura localizzare non soltanto nel mio corpo ma, più precisamente, in una porzione di spazio dietro agli occhi e fra le orecchie. Fatto ugualmente notevole, alcuni oggetti – sebbene non tutti – sono accompagnati da un sentimento che li connette in modo inequivocabile al mio corpo e alla mia mente. Questo sentimento mi dice, senza che venga pronunciata una sola parola, che io possiedo gli oggetti, per tutto il tempo, e che se voglio posso agire su di essi. Questo è, letteralmente, «sentire ciò che accade»,[3] il sentire legato all'oggetto, del quale ho scritto in passato. Sulla materia dei sentimenti nella mente, tuttavia, devo aggiungere qualcosa: *sentire ciò che accade non è tutto.* Vi è un sen-

tire più profondo che va intuito e poi scoperto nei recessi della mente cosciente. È il sentire che il mio corpo esiste ed è presente, indipendentemente da qualsiasi oggetto con cui interagisca: affermazione – solida come la roccia, e senza parole – del fatto che io sono vivo. Nei miei precedenti approcci al problema non avevo ritenuto necessario soffermarmi su questo sentimento fondamentale, che ora introduco invece come un elemento essenziale del processo del sé. L'ho denominato *sentimento primordiale*, e voglio osservare che esso ha una *qualità* definita, una *valenza*, che si colloca da qualche parte lungo il continuum che va dal piacere al dolore. È la radice alla base di tutti i sentimenti delle emozioni e pertanto il fondamento di tutti i sentimenti causati dalle interazioni fra gli oggetti e l'organismo. Come vedremo, i sentimenti primordiali sono generati dal proto-sé.[4]

In breve, immergendomi nelle profondità della mente cosciente, scopro che essa è un insieme composito di immagini differenti. Alcune di quelle immagini descrivono gli *oggetti* presenti nella coscienza. Altre descrivono *me*, e quel *me* comprende: 1) *la prospettiva* in cui gli oggetti sono mappati (il fatto che la mia mente abbia una postazione dalla quale vede, tocca, ode, eccetera, e che quella postazione sia il mio corpo); 2) il sentimento che gli oggetti sono rappresentati in una mente appartenente a me e a nessun altro (*proprietà*); 3) il sentimento del mio avere facoltà di *agire* nei confronti degli oggetti e che le azioni eseguite dal mio corpo sono comandate dalla mia mente; e 4) i *sentimenti primordiali*, i quali indicano l'esistenza del mio corpo, che è vivo, indipendentemente dal modo in cui gli oggetti interagiscono (o non interagiscono) con esso.

Il complesso degli elementi da 1 a 4 costituisce un sé nella sua versione più semplice. Quando le immagini del complesso del sé sono raccolte insieme a quelle di oggetti diversi dal sé, il risultato è una mente dotata di coscienza.

Tutta questa conoscenza è facilmente disponibile. Per

arrivare a essa, non occorre l'inferenza o l'interpretazione frutto di ragionamento; e non è nemmeno in forma verbale. È fatta di suggerimenti e impressioni, di sentimenti *in relazione al corpo che vive* e *in relazione a un oggetto.*

Il semplice sé che sta alla base della mente ha moltissimo in comune con la musica, ma non è ancora poesia.

GLI INGREDIENTI DI UNA MENTE COSCIENTE

Gli ingredienti fondamentali per la costruzione della mente cosciente sono *lo stato di veglia* e le *immagini.* Per quanto riguarda il primo, sappiamo che dipende dal funzionamento di certi nuclei localizzati nel tegmento del tronco encefalico e nell'ipotalamo. Servendosi tanto di vie neurali quanto di vie chimiche, questi nuclei esercitano la loro influenza sulla corteccia cerebrale. La vigilanza viene quindi attenuata (producendo il sonno) oppure amplificata (producendo lo stato di veglia). Sebbene alcuni nuclei del tronco encefalico influenzino la corteccia cerebrale in modo diretto, in generale la loro funzione è coadiuvata dal talamo; quanto ai nuclei ipotalamici, essi operano in larga misura liberando sostanze chimiche che successivamente agiscono sui circuiti neurali alterandone il comportamento.

Il delicato equilibrio che caratterizza lo stato di veglia dipende dalla stretta interazione fra ipotalamo, tronco encefalico e corteccia cerebrale. La funzione dell'ipotalamo è intimamente legata alla quantità di luce disponibile: questa è la componente del processo di veglia la cui disorganizzazione è responsabile del jetlag che ci colpisce quando attraversiamo diversi fusi orari viaggiando in aeroplano. A sua volta, questa funzione è strettamente associata alle modalità di secrezione ormonale, in parte legate ai cicli giorno-notte. I nuclei ipotalamici controllano il funzionamento delle ghiandole endocrine (ipofi-

si, tiroide, surrenali, pancreas, testicoli e ovaie) in tutto l'organismo.[5]

La componente del processo di veglia che fa capo al tronco encefalico ha a che fare con il valore naturale di ciascuna situazione in atto. Il tronco encefalico risponde, in modo spontaneo e non cosciente, a domande che nessuno pone; per esempio, quanto dovrebbe contare la situazione per l'osservatore? Il valore determina non solo il segnale e l'intensità delle risposte emozionali a una situazione, ma anche in quale misura saremo svegli e in stato di allerta. La noia compromette lo stato di veglia, e altrettanto avviene in corrispondenza di certi livelli di alcuni parametri metabolici. Sappiamo bene che cosa accade durante la digestione di un pasto abbondante, soprattutto se contenente sostanze chimiche come il triptofano, liberato dalle carni rosse. L'alcol inizialmente esalta lo stato di veglia, ma in seguito, non appena i suoi livelli ematici aumentano, induce sonnolenza. Gli anestetici sospendono completamente lo stato di veglia.

Un'ultima nota precauzionale: il settore del tronco encefalico coinvolto nella regolazione dello stato di veglia è distinto, in termini neuroanatomici e neurofisiologici, da quello che genera le fondamenta del sé, ovvero il proto-sé, discusso nella prossima sezione. Se *nel tronco encefalico i nuclei preposti allo stato di veglia e quelli che generano il proto-sé* sono anatomicamente vicini è per un'ottima ragione: entrambi i gruppi partecipano infatti alla regolazione dei processi vitali, benché in modo diverso.[6]

Sulla questione delle *immagini*, può sembrare che già sappiamo quello che occorre sapere, giacché ne abbiamo discusso la base neurale nei capitoli dal 3 al 6; è necessario tuttavia dire di più. Nella mente cosciente le immagini sono di certo la fonte degli *oggetti-da-conoscere*, indipendentemente dal fatto che questi ultimi facciano parte del mondo esterno o si trovino all'interno del corpo (per esempio, un gomito indolenzito o un dito che ci

siamo inavvertitamente scottati). Le immagini possono essere ricondotte a tutte le modalità sensoriali – non solo a quella visiva – e riguardano *qualsiasi oggetto o azione elaborati nel cervello,* realmente presenti o richiamati, concreti o astratti. Questa definizione copre tutte le configurazioni che hanno origine *fuori dal cervello,* all'interno come all'esterno del corpo; copre anche configurazioni generate all'interno del cervello in seguito all'unione di altre configurazioni. In effetti la famelica dipendenza mostrata dal cervello nei confronti della creazione di mappe lo induce a rappresentare anche le sue stesse operazioni: ancora una volta, parla a se stesso. Le mappe delle operazioni cerebrali sono probabilmente la fonte principale delle immagini astratte che descrivono, relativamente agli oggetti, la collocazione spaziale e il movimento, le relazioni reciproche, la velocità e la traiettoria (nel caso in cui siano in movimento), nonché le modalità con cui si presentano nel tempo e nello spazio. Tali immagini possono essere convertite in formule matematiche, ma anche in composizioni ed esecuzioni musicali. Matematici e musicisti eccellono nel creare immagini di questo genere.

L'ipotesi di lavoro avanzata in precedenza propone che le menti coscienti affiorino dall'instaurarsi di una *relazione* fra l'*organismo* e un *oggetto-da-conoscere.* Ma come vengono rappresentati, nel cervello, l'organismo, l'oggetto e la relazione? Tutte e tre le componenti sono costituite da immagini. L'oggetto da conoscere è mappato come immagine, e lo stesso vale per l'organismo, anche se nel suo caso le immagini sono speciali. Per quanto riguarda poi la conoscenza che costituisce uno stato del sé e che permette l'emergere della soggettività, anch'essa è fatta di immagini. L'intero tessuto di una mente cosciente è creato a partire dalla stessa materia: *le immagini generate grazie alla capacità del cervello di tracciare mappe.*

Anche se tutti gli aspetti della coscienza sono costruiti a partire dalle immagini, queste ultime non nascono tutte uguali in termini di origine neurale o di caratteristi-

che fisiologiche (si veda tab. 3.1 a p. 103). Le immagini usate per descrivere la maggior parte degli oggetti-da-conoscere sono convenzionali, nel senso che risultano dalle operazioni di mappatura che abbiamo discusso per i sensi esterni. Le immagini che rappresentano l'organismo, invece, costituiscono una classe particolare: esse originano all'interno del corpo e rappresentano aspetti del corpo stesso in azione. Hanno uno status speciale e un effetto speciale: sono *sentite*, in modo spontaneo e naturale, fin dal principio, prima di qualsiasi altra operazione coinvolta nella costruzione della coscienza. Sono immagini *sentite* del corpo, sentimenti corporei primordiali, precursori di tutti gli altri sentimenti, compresi i sentimenti delle emozioni. Come vedremo in seguito, le immagini che descrivono la relazione fra l'organismo e l'oggetto attingono da entrambi i tipi di immagine: le immagini sensoriali convenzionali e le variazioni sul tema dei sentimenti corporei.

Infine, tutte le immagini hanno luogo in uno spazio di lavoro composito, formato da regioni distinte delle cortecce cerebrali sensoriali di ordine inferiore, e, nel caso dei sentimenti, da regioni particolari del tronco encefalico. Questo spazio delle immagini è controllato da un certo numero di siti corticali e subcorticali, i cui circuiti contengono la conoscenza disposizionale registrata in forma latente nell'architettura neurale delle zone di convergenza-divergenza discusse nel capitolo 6. Le regioni possono operare in modo conscio oppure no, ma nell'uno e nell'altro caso lo fanno esattamente all'interno dei medesimi substrati neurali. Nelle regioni coinvolte, la differenza fra le modalità di operazione cosciente e non cosciente dipende dal grado di veglia e dal livello di elaborazione del sé.

In termini di realizzazione neurale, il concetto di spazio delle immagini qui proposto differisce considerevolmente dalle idee rintracciabili nelle opere di Bernard Baars, Stanislas Dehaene e Jean-Pierre Changeux. Baars è stato il primo a parlare di spazio di lavoro globale, in

termini puramente psicologici, per richiamare l'attenzione sull'intenso scambio di comunicazioni fra le diverse componenti del processo della mente. Dehaene e Changeux sono giunti a servirsi dello stesso concetto, in termini neuronali, per riferirsi all'attività neurale altamente distribuita e interconnessa che necessariamente è alla base della coscienza. In termini cerebrali, essi si concentrano sulla corteccia cerebrale intesa come *provider* di contenuti della coscienza e privilegiano le cortecce associative, in particolare la corteccia prefrontale, come elemento necessario per l'accesso a quei contenuti. Anche Baars, in opere successive, ha messo il concetto di spazio di lavoro globale al servizio dell'*accesso* ai contenuti della coscienza.

Da parte mia, mi concentro sulle regioni che producono le immagini, lo scenario in cui effettivamente recitano le marionette. I fili e chi li manovra sono fuori dallo spazio delle immagini, nello spazio disposizionale localizzato nelle cortecce associative dei lobi frontali, temporali e parietali. Questa prospettiva è compatibile con i risultati degli studi di neuroimmagine e di elettrofisiologia che descrivono il comportamento di quei due settori distinti (lo spazio delle immagini e quello delle disposizioni) in relazione alle immagini coscienti e non coscienti, come il lavoro di Nikos Logothetis o di Giulio Tononi sulla rivalità binoculare, o quello di Stanislas Dehaene e Liones Naccache sull'elaborazione verbale. Gli stati coscienti richiedono un impegno sensoriale precoce *insieme* al coinvolgimento delle cortecce associative, perché, per come la vedo io, è lì che viene organizzato lo spettacolo delle marionette.[7] Io credo che, rispetto all'approccio dello spazio di lavoro neuronale globale, la mia descrizione del problema sia complementare e non conflittuale.

Il proto-sé è il passaggio intermedio necessario per la costruzione del sé nucleare. Esso è un *insieme integrato di configurazioni neurali separate che mappano, istante per istante, gli aspetti più stabili della struttura fisica dell'organismo.* Le mappe del proto-sé sono caratteristiche in quanto non generano mere immagini del corpo, ma immagini del corpo che sono *sentite.* Questi sentimenti primordiali del corpo sono spontaneamente presenti nel cervello normale in stato di veglia.

Al proto-sé contribuiscono *mappe master enterocettive, mappe master dell'organismo* e *mappe dei portali sensoriali orientati verso l'esterno.* Da un punto di vista anatomico, queste mappe sono generate sia dal tronco encefalico, sia dalle regioni corticali. Lo stato fondamentale del proto-sé è una media delle sue componenti enterocettive e delle sue componenti legate ai portali sensoriali. L'integrazione di tutte queste diverse mappe, spazialmente distribuite, ha luogo mediante segnalazione incrociata all'interno della medesima finestra temporale. Essa non richiede un unico sito cerebrale in cui le diverse componenti siano rimappate. Consideriamo ora individualmente i diversi tipi di mappa che contribuiscono al proto-sé.

Mappe master enterocettive

Sono le mappe e le immagini i cui contenuti vengono assemblati a partire dai segnali enterocettivi provenienti dal *milieu* interno e dai visceri. I segnali enterocettivi informano in tempo reale il sistema nervoso centrale circa lo stato dell'organismo: questo può variare da ottimale o normale a problematico, quando l'integrità di un organo o di un tessuto è stata violata e il corpo ha subìto un danno. (Mi sto riferendo qui ai segnali nocicettivi, alla base delle sensazioni di dolore). I segnali enterocettivi indicano la necessità di correzioni fisiologiche, necessità

che si materializza nella nostra mente, per esempio, con le sensazioni di fame e di sete. Tutti i segnali che riguardano la temperatura, insieme alla miriade di parametri concernenti il *milieu* interno, rientrano in questa categoria. Infine, i segnali enterocettivi prendono parte alla creazione di stati edonici e alle corrispondenti sensazioni di piacere.

In ogni dato momento, un sottoinsieme di questi segnali, assemblati e modificati in certi nuclei del tronco encefalico superiore, genera i sentimenti primordiali. Per i segnali provenienti dal corpo e diretti alla corteccia cerebrale il tronco encefalico non è una mera stazione di transito. È invece una stazione decisionale, in grado di avvertire i cambiamenti e di rispondere in modo predeterminato e tuttavia modulato a quello stesso livello. Il funzionamento di quell'apparato decisorio contribuisce alla *costruzione* dei sentimenti primordiali, così che essi siano qualcosa più di semplici «ritratti» del corpo,

LIVELLO DEL TRONCO ENCEFALICO	
Nucleo del tratto solitario (NTS) Nucleo parabrachiale (NPB) Grigio periacqueduttale (GPA) Area postrema (AP) Ipotalamo Collicolo superiore, strati profondi (CS)	Integrazione enterocettiva
LIVELLO DELLA CORTECCIA CEREBRALE	
Corteccia dell'insula Corteccia del cingolo anteriore	Integrazione enterocettiva
Campi oculari frontali (BA 8) Cortecce somatosensoriali	Portali sensoriali diretti verso l'esterno

Tabella 8.2 Le principali componenti del proto-sé.

più elaborati di semplici mappe. I sentimenti primordiali sono prodotti collaterali della particolare organizzazione dei nuclei del tronco encefalico e del loro inscindibile legame con il corpo. Le caratteristiche funzionali dei particolari neuroni implicati nell'operazione danno forse anch'esse un loro contributo.

I sentimenti primordiali precedono tutti gli altri: si riferiscono in modo specifico ed esclusivo al corpo – il corpo vivo, connesso al suo specifico tronco encefalico. Tutti i sentimenti delle emozioni e tutti i sentimenti causati dall'interazione degli oggetti con l'organismo sono variazioni dei sentimenti primordiali in corso. I sentimenti primordiali e le loro variazioni emozionali generano un coro che accompagna tutte le altre immagini mentre scorrono nella mente.

L'importanza del sistema enterocettivo ai fini della comprensione della mente cosciente non sarà mai sottolineata abbastanza. I processi che hanno luogo in questo sistema sono in larga misura *indipendenti* dalle dimensioni delle strutture in cui si manifestano e costituiscono un tipo di input speciale, presente fin dai primi stadi dello sviluppo e durante tutta l'infanzia e l'adolescenza. In altre parole, l'enterocezione rappresenta un'utile fonte della relativa *invarianza* necessaria a stabilire una sorta di stabile impalcatura per quello che, alla fine, costituirà il sé.

Il tema dell'invarianza relativa è fondamentale perché il sé è un processo singolare e noi dobbiamo identificare un mezzo biologico plausibile per dare fondamento a quella singolarità. Stando alle apparenze, dovrebbe essere il corpo dell'organismo, nella sua unicità, a fornire quella tanto necessaria singolarità biologica. Noi viviamo in un unico corpo, non in due (una verità che non è smentita neppure dai gemelli siamesi), e abbiamo un'unica mente associata a quel corpo, e un unico sé associato a entrambi. (L'esistenza di sé multipli e quella di personalità multiple non costituiscono stati normali della mente). D'altra parte, la piattaforma alla

base della singolarità non può corrispondere all'*intero corpo*, perché quest'ultimo nel suo complesso esegue di continuo azioni diverse e modifica di conseguenza la propria forma (per non parlare del fatto che dalla nascita all'età adulta cresce di dimensioni). La piattaforma della singolarità deve essere cercata altrove, in una parte del corpo che si trova *all'interno* del corpo stesso, e non nel corpo inteso come unità. Essa deve corrispondere ai settori del corpo che cambiano di meno o che non cambiano affatto. Il *milieu* interno, e i suoi numerosi parametri viscerali costituiscono a ogni età e nell'arco di tutta la vita gli aspetti più invarianti dell'organismo: non perché non vadano incontro a cambiamenti, ma perché il loro funzionamento richiede che la variazione abbia luogo soltanto all'interno di un intervallo estremamente ristretto. Le ossa crescono durante il periodo dello sviluppo, e altrettanto fanno i muscoli che le muovono; per contro, l'essenza del bagno chimico in cui ha luogo la vita – l'intervallo medio in cui ricadono i suoi vari parametri – è approssimativamente la stessa, a prescindere dal fatto che l'individuo abbia tre, cinquanta o ottanta anni. Inoltre, con ogni probabilità, l'essenza biologica di uno stato di paura o di felicità è la stessa – in termini di costruzione di tali stati a partire dalle variabili chimiche del *milieu* interno e dallo stato di contrazione o rilasciamento della muscolatura liscia dei visceri – sia per individui alti sessanta centimetri, sia per individui che ne misurano centottanta. Vale la pena di notare che nell'arco della vita le cause di uno stato di paura o di felicità, ovvero i pensieri che causano quegli stati, possono essere del tutto diverse, ma il profilo della reazione emozionale prodotta da quelle cause non lo è affatto.

Dove opera il sistema delle mappe master enterocettive? Grazie a ricerche che hanno spaziato da registrazioni fisiologiche a livello cellulare e studi di neuroanato-

mia sperimentale negli animali per arrivare a studi di neuroimmagine funzionale condotti negli esseri umani, negli ultimi dieci anni le risposte a questa domanda si sono fatte sempre più articolate. Il risultato di queste ricerche (discusso nel capitolo 4) è una conoscenza insolitamente dettagliata delle vie che portano tali segnali al sistema nervoso centrale.[8] I segnali neurali e chimici che descrivono gli stati del corpo entrano nel sistema nervoso centrale in corrispondenza di vari livelli del midollo spinale, del nucleo del trigemino (nel tronco encefalico) e di un particolare gruppo di neuroni che si trovano nei pressi dei ventricoli cerebrali. Da tutti questi punti d'ingresso, i segnali sono ritrasmessi ai principali nuclei integrativi del tronco encefalico – i più importanti dei quali sono il nucleo del tratto solitario e il nucleo parabrachiale – e all'ipotalamo. Da qui, dopo essere stati elaborati localmente e usati per regolare i processi vitali e generare i sentimenti primordiali, essi sono trasmessi *anche* al settore che più chiaramente è associato all'enterocezione, ovvero la corteccia dell'insula, dopo un'opportuna fermata nei nuclei di relè talamici. Nonostante l'importanza della componente corticale di questo sistema, ritengo che la componente costituita dal tronco encefalico sia fondamentale per il processo del sé. Come ho specificato nell'ipotesi, essa può fornire un proto-sé operativo, anche quando la componente corticale è estesamente compromessa.

Mappe master dell'organismo

Le mappe master dell'organismo descrivono uno schema del corpo intero con le sue principali componenti – testa, tronco e arti – in stato di riposo. I movimenti sono poi tracciati rispetto a esse. A differenza di quelle enterocettive, le mappe master dell'organismo cambiano in modo radicale durante lo sviluppo perché ritraggono il sistema muscoloscheletrico e i suoi movimenti. Necessariamente, queste mappe seguono l'au-

mento sia delle dimensioni corporee, sia della portata e della qualità del movimento. Anche se alla fine viene raggiunta una certa stabilità temporanea non è concepibile che queste mappe possano essere le medesime in un bambino che comincia a camminare, in un adolescente o in un adulto. Di conseguenza, le mappe master dell'organismo non sono la fonte ideale della singolarità necessaria per costituire il proto-sé.

Il sistema delle mappe master enterocettive deve essere accolto nel quadro generale creato dallo schema delle mappe master dell'organismo, in ogni fase dello sviluppo di quest'ultimo. Una descrizione schematica raffigurerebbe il sistema enterocettivo *internamente* al perimetro del quadro generale delle mappe master dell'organismo; si tratta tuttavia di due cose distinte. Il fatto che un sistema trovi posto all'interno dell'altro non implica un effettivo trasferimento delle mappe ma piuttosto un coordinamento, così che entrambi gli insiemi di mappe possano essere evocati simultaneamente. La mappatura di una specifica regione all'interno del corpo, per esempio, sarebbe segnalata al settore del quadro generale dell'organismo in cui essa meglio si colloca nello schema anatomico generale. Quando abbiamo un senso di nausea, spesso lo percepiamo in relazione a una regione del corpo – lo stomaco, per esempio. Nonostante la sua vaghezza, questa mappa enterocettiva viene inserita nella mappa generale dell'organismo.

Mappe dei portali sensoriali orientati verso l'esterno

Nel capitolo 4 ho fatto indirettamente riferimento ai portali sensoriali descrivendo la «montatura» in cui sono incastonate, come brillanti, le sonde sensoriali; qui li colloco al servizio del sé. La rappresentazione dei vari portali sensoriali presenti nel corpo – per esempio le regioni in cui sono contenuti gli occhi, le orecchie, la lingua e il naso – è un caso speciale e distinto di mappa master dell'organismo. Io immagino che le mappe dei por-

tali sensoriali « entrino » nel quadro delle mappe master dell'organismo proprio come deve farlo il sistema delle mappe enterocettive, per mezzo di una coordinazione temporale, più che attraverso un reale trasferimento delle mappe. Dove esattamente si trovino alcune di tali mappe è al momento materia di indagine.

Le mappe dei portali sensoriali hanno un duplice ruolo, dapprima nella costruzione della prospettiva (una caratteristica fondamentale della coscienza) e poi nella costruzione degli aspetti qualitativi della mente. Uno dei lati curiosi della nostra consapevolezza di un oggetto è la finissima relazione che stabiliamo fra i contenuti mentali che lo descrivono e quelli che corrispondono alla parte del corpo impegnata nella sua percezione. Non soltanto noi sappiamo di vedere con gli occhi: *sentiamo anche noi stessi mentre vediamo con i nostri occhi.* Sappiamo che udiamo con le orecchie, e non con gli occhi o con il naso. Sentiamo effettivamente i suoni nell'orecchio esterno e sulla membrana timpanica. Tocchiamo con le dita e annusiamo con il naso: di primo acchito può suonare banale, ma non lo è affatto. Noi abbiamo tutta questa conoscenza circa la « localizzazione degli organi di senso » fin dalla più tenera età, probabilmente prima di scoprirla per inferenza, collegando una certa percezione a un particolare movimento: forse addirittura prima che innumerevoli canzoncine e filastrocche ci insegnino, a scuola, dove i sensi ricavino le loro informazioni. Nondimeno, si tratta di uno strano tipo di conoscenza. Consideriamo che le immagini visive provengono dai neuroni della retina, i quali si ritiene non abbiano nulla da dire sul settore del corpo in cui la retina è localizzata, e cioè all'interno del globo oculare, a sua volta alloggiato nell'orbita, in una parte ben precisa della faccia. Come abbiamo fatto a scoprire che la retina si trova dove si trova? Naturalmente, un bambino noterà che quando tiene gli occhi chiusi non vede più nulla, e che mettendo le mani sulle orecchie sente meno bene. Ma il punto non è questo. Il punto è che noi « sentiamo »

il suono entrare nelle orecchie, e «sentiamo» che ci guardiamo intorno e vediamo con gli occhi. Di fronte a uno specchio, un bambino troverà conferma di conoscenze che avrà già acquisito grazie alle informazioni aggiuntive che originano da strutture del corpo «intorno» alla retina. L'insieme di quelle strutture costituisce ciò che io chiamo un *portale sensoriale*. Nel caso della vista, il portale comprende non soltanto i muscoli oculari con i quali muoviamo gli occhi, ma anche tutto l'apparato con cui mettiamo a fuoco un oggetto regolando le dimensioni del cristallino; l'apparato di regolazione dell'intensità luminosa che riduce o aumenta il diametro della pupilla (il diaframma dell'occhio); e, infine, i muscoli *intorno* all'occhio, quelli con cui possiamo assumere un'aria accigliata, ammiccare, o esprimere allegria. I movimenti oculari e l'ammiccamento hanno un ruolo fondamentale nel montaggio delle immagini visive che si formano nell'occhio, e hanno una funzione importante anche nel montaggio efficace e realistico delle immagini cinematografiche.

Vedere è qualcosa di più che ottenere la giusta configurazione di luce sulla retina: l'azione del vedere comprende tutta una serie di co-risposte, alcune delle quali sono indispensabili per generare sulla retina una configurazione chiara, altre sono abituali correlati del processo del vedere, e altre ancora rappresentano già rapide reazioni all'elaborazione della configurazione stessa.

Il caso dell'udito è simile. La vibrazione della membrana timpanica e di una serie di ossicini situati nell'orecchio medio può essere segnalata al cervello parallelamente al suono stesso, la cui segnalazione origina nell'orecchio interno a livello della coclea, dove vengono mappate caratteristiche quali la frequenza, il tempo e il timbro.

Probabilmente, il complesso funzionamento dei portali sensoriali contribuisce agli errori che i bambini, ma anche gli adulti, possono commettere in merito alla percezione di un evento: quando, per esempio, riferiscono

che un certo oggetto è stato dapprima visto e poi udito, mentre in realtà è accaduto l'opposto. Il fenomeno è noto come «errore di attribuzione della fonte».

I portali sensoriali così misconosciuti hanno un ruolo essenziale nel definire la *prospettiva* della mente rispetto al resto del mondo. Qui non sto parlando della singolarità biologica fornita dal proto-sé; mi sto riferendo invece a un effetto che tutti sperimentiamo nella nostra mente: avere una *posizione* dalla quale osserviamo qualsiasi cosa stia accadendo fuori di essa. Non si tratta di un mero «punto di vista», anche se molto spesso, per la maggior parte degli esseri umani vedenti, il senso della vista domina l'attività della mente. Noi però abbiamo una posizione anche rispetto ai suoni presenti nel mondo, agli oggetti che tocchiamo, e perfino a quelli che percepiamo nel nostro corpo (ancora una volta, il gomito indolenzito; o i piedi, mentre camminiamo sulla sabbia).

Nessuno di noi pensa erroneamente di vedere con l'ombelico o di udire con le ascelle (per quanto interessanti possano essere queste possibilità). I portali sensoriali nei pressi dei quali sono raccolti i dati necessari alla costruzione di immagini forniscono alla mente la posizione dell'organismo relativamente a un oggetto. Essa è ricavata servendosi dell'insieme delle regioni corporee intorno alle quali hanno luogo le percezioni e viene meno solo in condizioni anormali (esperienze extracorporee) che possono derivare da patologie cerebrali, traumi psicologici o manipolazioni sperimentali eseguite con l'ausilio di dispositivi di realtà virtuale.[9]

Io immagino che la prospettiva dell'organismo si appoggi a una molteplicità di fonti. La vista, il suono, l'equilibrio spaziale, il gusto, l'olfatto dipendono tutti da portali sensoriali non molto distanti l'uno dall'altro, tutti localizzati nella testa. Possiamo pensare alla testa come a un dispositivo di sorveglianza multidimensionale, pronto ad assorbire dati sul mondo. Il tatto, con la sua natura «a tutto campo», ha un portale sensoriale più ampio; la prospettiva a esso legata indica tuttavia in modo inequi-

vocabile il singolo organismo quale supervisore, e identifica un luogo specifico sulla sua superficie. La stessa prospettiva a tutto campo vale per la percezione del nostro movimento, che è in relazione con tutto il corpo ma origina sempre nel singolo organismo.

Per quanto riguarda la corteccia cerebrale, la maggior parte dei dati provenienti dal portale sensoriale deve arrivare al sistema somatosensoriale, con una preferenza per la SI e la SII rispetto all'insula. Nel caso della visione, i dati del portale sensoriale sono trasmessi anche ai cosiddetti campi visivi frontali, localizzati nell'area 8 di Brodmann, nella parte superiore e laterale della corteccia frontale. Ancora una volta queste regioni cerebrali, che da un punto di vista geografico sono separate, devono essere unite sul piano funzionale da una sorta di meccanismo integratore.

Occorre a questo punto fare un'ultima nota sulla situazione eccezionale delle cortecce somatosensoriali: esse trasmettono segnali provenienti dal mondo esterno (le mappe tattili sono l'esempio principale), dal corpo (come nel caso dell'enterocezione) e dai portali sensoriali. Quest'ultima componente appartiene legittimamente alla struttura dell'organismo, e pertanto al proto-sé.

Vi è allora un notevole contrasto fra due insiemi di configurazioni. Da un lato, vi è l'infinita varietà di quelle che descrivono gli oggetti convenzionali (alcuni dei quali – come gli oggetti visti, uditi, gustati e annusati – sono esterni al corpo; mentre altri sono effettivamente parti di esso, come le articolazioni, o aree circoscritte di cute). Dall'altro, vi è l'infinita identità della gamma ristretta delle configurazioni riguardanti l'interno del corpo e la sua regolazione rigidamente controllata. Vi è una differenza fondamentale e ineludibile fra l'aspetto rigorosamente controllato dei processi vitali all'interno del nostro organismo e tutte le cose e gli eventi immaginabili che si trovano e hanno luogo all'esterno di esso o nelle parti restanti del corpo. Questa differenza è indi-

spensabile per comprendere il fondamento biologico dei processi del sé.

Questo stesso contrasto fra varietà e identità regge anche a livello dei portali sensoriali. Non è necessario che i cambiamenti a cui essi vanno incontro, dallo stato basale a quello associato al guardare e al vedere, siano estesi, anche se possono esserlo. Semplicemente, essi devono significare che ha avuto luogo un coinvolgimento fra l'organismo e l'oggetto. Non occorre che trasmettano nulla sull'oggetto coinvolto.

In breve, la combinazione di *milieu* interno, struttura viscerale e stato basale dei portali sensoriali (diretti verso l'esterno) fornisce un'isola di stabilità in un mare di movimento. Essa preserva una relativa coerenza dello stato funzionale, in un ambiente di processi dinamici le cui variazioni sono decisamente pronunciate. Immaginiamo una gran folla in movimento lungo una strada; un piccolo gruppo al centro della calca avanza in formazione costante e coesa, mentre il resto della folla si sposta in modo scoordinato – in moto browniano –, così che alcuni elementi rimangono indietro rispetto agli altri, altri sorpassano il gruppo centrale, eccetera.

All'impalcatura fornita dalla relativa invarianza del *milieu* interno va aggiunto un altro fatto, e cioè che il corpo rimane inseparabilmente legato al cervello, in qualsiasi istante. Questo legame è alla base della genesi dei sentimenti primordiali e del rapporto esclusivo esistente fra il corpo, come oggetto, e il cervello che lo rappresenta. Quando creiamo mappe di oggetti ed eventi presenti nel mondo esterno, quegli oggetti e quegli eventi rimangono nel mondo esterno. Quando mappiamo gli oggetti e gli eventi del nostro corpo, essi sono all'interno dell'organismo e non vanno da nessun'altra parte. Tali oggetti agiscono sul cervello ma possono a loro volta essere agiti in qualsiasi momento, dando vita a un circuito risonante che realizza qualcosa di simile a una fusione men-

te-corpo. Essi costituiscono un substrato animato che fornisce un contesto obbligato a tutti gli altri contenuti della mente. Il proto-sé non è una mera raccolta di mappe del corpo paragonabile alla bella collezione di immagini raffiguranti dipinti espressionisti astratti che mi porto nel cervello. Il proto-sé è un insieme di mappe che rimane connesso interattivamente con la sua fonte: una radice profonda che non può essere alienata. Purtroppo, le immagini dei dipinti espressionisti astratti che io prediligo e che mi porto nel cervello non sono fisicamente connesse alle rispettive fonti: mi piacerebbe che lo fossero, ma esse esistono soltanto nel mio cervello.

Infine, devo osservare che il proto-sé non va confuso con un omuncolo, proprio come non è omuncolare il sé che risulta dalla sua modificazione. Il concetto tradizionale di omuncolo corrisponde a una piccola persona insediata nel cervello, una persona saggia e onnisciente in grado di rispondere a domande riguardanti ciò che sta accadendo nella mente e di fornire delle interpretazioni in merito. Il problema dell'omuncolo, un problema ben identificato, sta nel suo innescare una regressione all'infinito: la piccola persona la cui conoscenza ci renderebbe coscienti deve avere, al proprio interno, un'altra piccola persona in grado di fornirle la conoscenza necessaria, e così via, all'infinito. Non funziona. La conoscenza che rende cosciente la nostra mente deve essere costruita secondo una modalità *bottom-up*, dal basso verso l'alto. Nulla potrebbe essere più lontano dall'idea dell'omuncolo del concetto di proto-sé presentato in questo libro. Il proto-sé è una piattaforma ragionevolmente stabile, e pertanto una fonte di continuità. Noi usiamo la piattaforma per codificare i cambiamenti causati dal fatto che un organismo interagisce con il suo ambiente (per esempio quando guarda e afferra un oggetto), o per codificare la modificazione di struttura o di stato dell'organismo (per esempio quando subisce una lesio-

ne, o la glicemia si abbassa troppo). I cambiamenti vengono *registrati rispetto allo stato attuale del proto-sé,* e la perturbazione innesca eventi fisiologici successivi; il proto-sé, tuttavia, non contiene informazioni, a parte quelle presenti nelle sue mappe. Il proto-sé non è un saggio insediato a Delfi che risponde quando gli chiediamo chi siamo.

COSTRUIRE IL SÉ NUCLEARE

Quando si pensa a una strategia per costruire il sé è giusto iniziare dai requisiti del sé nucleare. Il cervello deve introdurre nella mente qualcosa che non era presente prima: precisamente, un protagonista. Una volta che esso è disponibile in mezzo agli altri contenuti della mente, e che è legato in modo coerente ad alcuni di quelli attuali, la soggettività comincia a essere parte del processo. Dapprima dobbiamo concentrarci sulla soglia il cui superamento dà luogo al protagonista, il punto in cui, per così dire, gli indispensabili elementi di conoscenza coagulano, producendo la soggettività.

Una volta che disponiamo di un'isola unificata di stabilità relativa corrispondente a una parte dell'organismo, il sé non potrebbe emergere da essa in un colpo solo? In caso affermativo, l'anatomia e la fisiologia delle regioni cerebrali alla base del proto-sé racconterebbero gran parte della storia su come viene costruito il sé: esso scaturirebbe dalla capacità del cervello di accumulare e integrare conoscenze sugli aspetti più stabili dell'organismo, punto e basta. Il sé equivarrebbe alla rappresentazione della vita all'interno del cervello, un'esperienza *sentita* e disadorna, nuda a cruda, non connessa ad altro se non al proprio corpo. Il sé consisterebbe dei sentimenti primordiali che il proto-sé, nel suo stato nativo,

produce spontaneamente e incessantemente, istante per istante.

Quando si tratta della vita mentale complessa che stiamo sperimentando in questo stesso istante, tuttavia, il proto-sé e i sentimenti primordiali non bastano a spiegare il fenomeno del sé che stiamo generando. Il proto-sé e i suoi sentimenti primordiali sono le probabili fondamenta del me materiale e, con ogni probabilità, in molte specie viventi sono una manifestazione importante – il picco – della coscienza. A noi però occorre un qualche processo intermedio collocato fra il proto-sé e i suoi sentimenti primordiali da un lato, e il sé autobiografico che ci conferisce il senso di personalità e identità dall'altro. Affinché il proto-sé diventi un sé nel vero senso della parola, e cioè un *sé nucleare*, occorre che nel suo stesso stato cambi qualcosa di essenziale. Tanto per cominciare, il profilo mentale del proto-sé deve essere innalzato e fatto *emergere*. Inoltre, esso deve *connettersi* agli eventi nei quali è coinvolto. All'interno della narrazione del momento, deve assumere un ruolo da *protagonista*. A mio avviso, il cambiamento essenziale del proto-sé deriva dal suo coinvolgimento istante per istante, innescato da qualsiasi oggetto venga percepito. Il coinvolgimento ha luogo in stretta prossimità temporale con l'elaborazione sensoriale dell'oggetto. Ogniqualvolta l'organismo incontra un oggetto – qualsiasi oggetto –, il proto-sé ne risulta modificato: per mappare un oggetto, infatti, il cervello deve eseguire un appropriato adeguamento del corpo, e i risultati di quell'adeguamento, come pure i contenuti dell'immagine mappata, vengono segnalati al proto-sé.

I cambiamenti del proto-sé danno inizio alla momentanea creazione del sé nucleare e innescano una catena di eventi, il primo dei quali è una trasformazione del sentimento primordiale che dà luogo a una «sensazione di conoscere l'oggetto», che differenzia quest'ultimo dagli altri presenti in quello stesso momento. Il secondo evento della catena è una conseguenza di quella prima

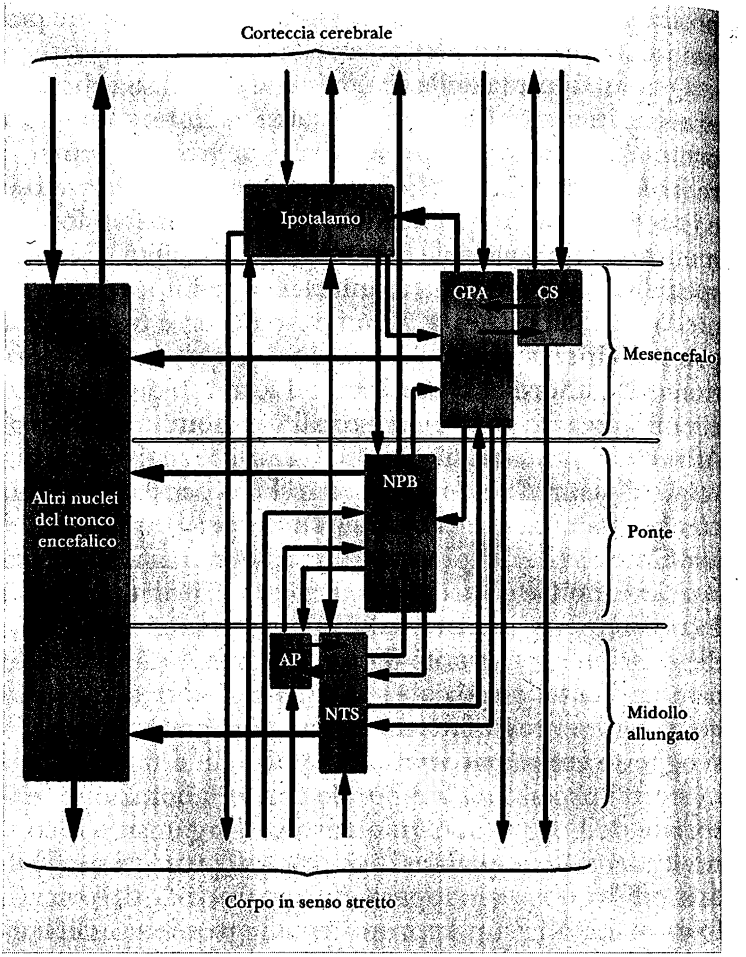


Figura 8.1 I nuclei del tronco encefalico impegnati nella genesi del sé nucleare. Come mostrato nella figura 4.1 a p. 130, diversi nuclei del tronco encefalico cooperano per assicurare l'omeostasi. I nuclei coinvolti, tuttavia, proiettano ad *altri* gruppi di nuclei del tronco encefalico (indicati in questa figura come *altri nuclei del tronco encefalico*). Questi altri nuclei sono raggruppati in famiglie funzionali: i *classici nuclei della formazione reticolare,* come il nucleo *pontis oralis* e il nucleo cuneiforme, i quali influenzano la corteccia cerebrale attraverso i nuclei intralaminari del talamo; i *nuclei monoaminergici,* che libe-

sensazione di conoscere. È la generazione della «prominenza» dell'oggetto che coinvolge l'organismo: un processo generalmente incluso nel termine *attenzione*, un attirare le risorse di elaborazione verso un oggetto particolare più che verso altri. Il sé nucleare, allora, è creato legando il proto-sé modificato all'oggetto che ha causato la modificazione, un oggetto che ora è stato contrassegnato dalla sensazione del conoscere e dal sentimento, e messo in risalto dall'attenzione.

Alla fine di questo ciclo, la mente contiene immagini riguardanti una sequenza, semplice e molto comune, di eventi: un oggetto ha coinvolto il corpo nel momento in cui è stato guardato, toccato o udito da una specifica prospettiva; il coinvolgimento ha indotto un cambiamento nel corpo; la presenza dell'oggetto è stata sentita; l'oggetto è stato reso prominente.

La narrazione non verbale di questi eventi in continuo svolgimento ritrae nella mente, in modo spontaneo, il fatto che vi è un protagonista al quale stanno accadendo certi eventi, e che il protagonista è il me materiale. Nella narrazione non verbale il ritratto crea e rivela simultaneamente il protagonista, collega a esso le azioni prodotte dall'organismo e, insieme ai sentimenti generati dall'essere coinvolto con l'oggetto, induce un senso di possesso.

Quello che viene aggiunto al semplice processo della mente, generando così una mente cosciente, è una serie di immagini, e precisamente: un'*immagine* dell'organi-

rano direttamente sostanze quali la noradrenalina, la serotonina e la dopamina in regioni diffuse della corteccia cerebrale; e i *nuclei colinergici*, che liberano acetilcolina.

Nell'ipotesi avanzata qui, i nuclei omeostatici generano la componente del sé nucleare costituita dai «sentimenti di conoscenza». A sua volta, l'attività neurale alla base di quel processo recluta gli altri nuclei del tronco encefalico, non coinvolti nell'omeostasi, per generare la «prominenza» dell'oggetto.

Le abbreviazioni sono le stesse della figura 4.1.

smo (fornita dal sostituto del proto-sé modificato); l'*immagine* di una risposta emozionale legata all'oggetto (ovvero, un sentimento); e l'*immagine* dell'oggetto causativo messo temporaneamente in risalto. *Il sé affiora nella mente sotto forma di immagini che narrano senza soluzione di continuità la storia di questi coinvolgimenti.* Le immagini del proto-sé modificato e della sensazione di conoscere non devono nemmeno essere particolarmente intense. Per fornire una connessione fra l'oggetto e l'organismo basta che esse siano presenti nella mente, anche se in modo sottile, poco più che suggerimenti. Dopo tutto, affinché il processo sia adattativo, ciò che più conta è l'oggetto.

Io considero questa narrazione senza parole come una descrizione di quello che sta accadendo nella vita e nel cervello, ma non ancora come un'interpretazione. È piuttosto una descrizione non sollecitata degli eventi, in cui il cervello indulge a rispondere a domande che nessuno ha posto. Michael Gazzaniga ha proposto l'idea di un «interprete», come un modo di spiegare la genesi della coscienza. Molto ragionevolmente, l'ha poi messa in relazione con l'apparato dell'emisfero sinistro e con i processi del linguaggio che vi hanno luogo. A me la sua idea piace moltissimo (in effetti, ha una netta aura di verità), ma credo che si applichi pienamente solo a livello del sé autobiografico e non a quello del sé nucleare.[10]

Nei cervelli generosamente dotati di memoria, linguaggio e ragionamento, le narrazioni caratterizzate da questa stessa semplice origine e da questo stesso semplice profilo sono arricchite e messe in condizione di presentare ancor più conoscenza, generando così un protagonista ben definito, un sé autobiografico. Diventa possibile aggiungere inferenze e produrre vere e proprie interpretazioni delle azioni in corso. Nondimeno, come vedremo nel prossimo capitolo, il sé autobiografico può essere costruito solo per mezzo del meccanismo del sé nucleare appena descritto. Tale meccanismo, ancorato nel proto-sé e nei suoi sentimenti primordiali, è fonda-

mentale ai fini della produzione della mente cosciente. I complessi dispositivi necessari per estendere il processo al livello del sé autobiografico dipendono dal normale funzionamento del meccanismo del sé nucleare.

Il dispositivo per stabilire la connessione fra sé e oggetto si applica soltanto agli oggetti effettivamente percepiti e non a quelli rievocati? No: quando apprendiamo qualcosa circa un oggetto, registriamo non solo il suo aspetto ma anche le nostre interazioni con esso (i movimenti degli occhi, della testa e della mano, eccetera); pertanto, rievocare un oggetto comporta il richiamo di un pacchetto composito di interazioni motorie memorizzate. Come nel caso di quelle reali, le interazioni motorie rievocate o immaginate possono modificare istantaneamente il proto-sé. Se questa idea si rivelasse corretta, spiegherebbe perché non perdiamo conoscenza quando fantastichiamo in una stanza silenziosa a occhi chiusi (un pensiero, credo, alquanto confortante).

In conclusione, la produzione di pulsazioni del sé nucleare relative a un gran numero di oggetti che interagiscono con l'organismo garantisce la produzione di sentimenti legati all'oggetto. A loro volta, questi sentimenti costruiscono un robusto processo del sé che contribuisce al mantenimento dello stato di veglia. Le pulsazioni del sé nucleare conferiscono inoltre diverse sfumature di valore alle immagini dell'oggetto causativo, mettendolo così in una posizione di maggiore o minore prominenza. Questo differenziamento delle immagini presenti nel flusso organizza il paesaggio della mente, plasmandolo in relazione alle esigenze e agli obiettivi dell'organismo.

LO STATO DEL SÉ NUCLEARE

In che modo il cervello potrebbe realizzare lo stato del sé nucleare? La ricerca ci porta a considerare dappri-

ma processi abbastanza locali, che coinvolgono un numero limitato di regioni cerebrali, e poi processi diffusi in tutto il cervello, che coinvolgono molte regioni simultaneamente. Da un punto di vista neurale, i passaggi legati al proto-sé non sono difficili da concepire. La componente enterocettiva del proto-sé è localizzata nel tronco encefalico superiore e nell'insula; la componente dei portali sensoriali è localizzata nelle classiche cortecce somatosensoriali e nei campi oculari frontali.

Affinché il sé nucleare possa emergere, lo status di alcune di queste componenti deve cambiare. Abbiamo visto che, quando un oggetto percepito scatena una reazione emozionale e altera le mappe master enterocettive, ne segue una modificazione del proto-sé che altera i sentimenti primordiali. Allo stesso modo, le componenti dei portali sensoriali del proto-sé si modificano ogni volta che un oggetto coinvolge un sistema percettivo. Di conseguenza, le regioni implicate nella creazione di immagini del corpo sono inevitabilmente modificate a livello dei siti che generano il proto-sé: tronco encefalico, corteccia dell'insula e cortecce somatosensoriali. Questi diversi eventi generano microsequenze di immagini che vengono introdotte nel processo della mente (con questo intendo che sono introdotte nello spazio di lavoro delle immagini, all'interno delle cortecce sensoriali di ordine inferiore e di regioni selezionate del tronco encefalico, più specificamente quelle dove vengono generati e modificati gli stati del sentire). Le microsequenze delle immagini si succedono, irregolari ma affidabili come i battiti di un polso, fintanto che continuano a verificarsi degli eventi e che il livello di veglia è mantenuto al di sopra della soglia.

Fino a questo punto, nei casi più semplici probabilmente lo stato del sé nucleare non ha alcun bisogno di un dispositivo di coordinamento centrale né di un unico schermo sul quale proiettare le immagini. Le schegge (le immagini) vanno dove vanno (le regioni che creano

le immagini) ed entrano nel flusso della mente nei tempi e nella sequenza appropriati.

Affinché la costruzione dello stato del sé sia completa, però, il proto-sé modificato deve essere messo in connessione con le immagini dell'oggetto causativo. Come può avvenire questo? E in che modo l'insieme di questi gruppi separati di immagini arriva a essere organizzato così

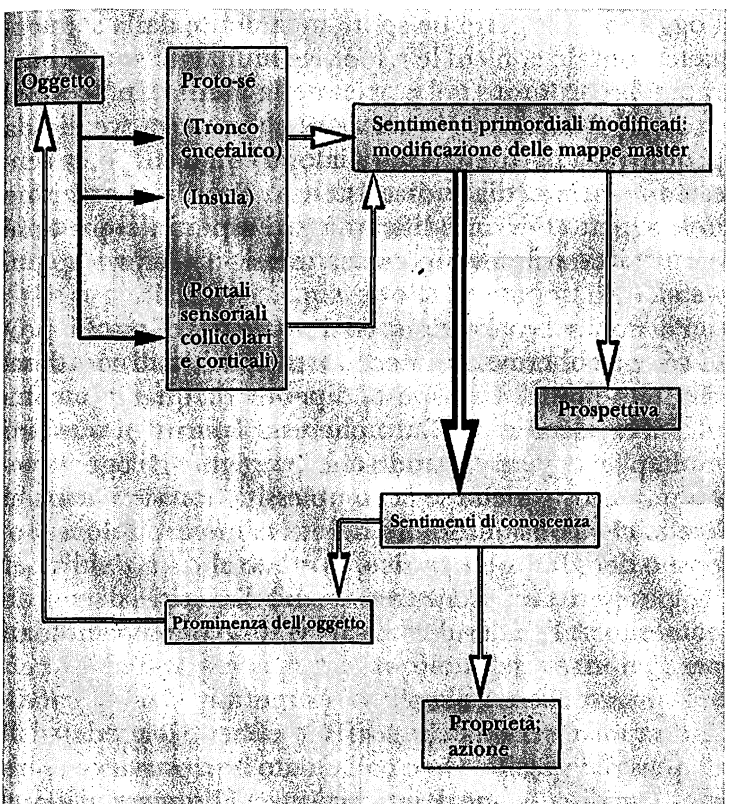


Figura 8.2 Schema dei meccanismi del sé nucleare. Lo stato del sé nucleare consta di più componenti: le principali sono i *sentimenti di conoscenza* e la *prominenza* dell'oggetto. Altre importanti componenti sono la *prospettiva* e il senso di *proprietà* e *azione.*

da costituire una scena coerente e pertanto una pulsazione matura del sé nucleare?

Anche qui, quando l'oggetto causativo comincia a essere elaborato e iniziano ad aver luogo i cambiamenti del proto-sé, è probabile che abbia un ruolo la sincronizzazione. Questi passaggi si verificano in stretta prossimità temporale, nella forma di una sequenza narrativa imposta dagli accadimenti in tempo reale. Il primo livello della connessione fra il proto-sé modificato e l'oggetto emergerebbe spontaneamente dalla sequenza temporale con cui le rispettive immagini sono generate e incorporate nel corteo della mente. In breve, il proto-sé deve essere in servizio: abbastanza sveglio da produrre, a partire dal suo dialogo con il corpo, la sensazione primordiale di esistenza. Poi l'elaborazione dell'oggetto deve modificare i vari aspetti del proto-sé e questi eventi devono essere messi in reciproca connessione.

Per creare la narrazione coerente che definisce il proto-sé potrebbero essere necessari dispositivi di coordinamento neurale? La risposta dipende da quanto è complessa la scena e dal fatto che essa coinvolga o meno molteplici oggetti. Quando effettivamente gli oggetti sono numerosi, anche se la complessità non si avvicina al livello che considereremo nel prossimo capitolo a proposito del sé autobiografico, io credo che senz'altro per raggiungere la coerenza occorrano dispositivi di coordinamento. A livello subcorticale vi sono buoni candidati per ricoprire quel ruolo.

Il primo di essi è il collicolo superiore. La sua candidatura susciterà qualche sorriso, sebbene le credenziali di questo dispositivo ben collaudato non possano essere messe in discussione. Per le ragioni cui ho accennato nel capitolo 3, gli strati profondi del collicolo superiore sono adatti a questo ruolo: offrendo la possibilità di sovrapporre immagini di diversi aspetti del mondo interno ed esterno, essi sono un modello di quello che infine sarebbe diventato il cervello capace di creare la mente e

il sé.[11] Le limitazioni, tuttavia, sono evidenti. Quando si arriva ai livelli di complessità del sé autobiografico, non possiamo aspettarci che i collicoli siano i principali coordinatori delle immagini corticali.

Il secondo candidato per il ruolo di coordinatore è il talamo, in particolare i suoi nuclei associativi, che si trovano in una posizione ideale per stabilire legami funzionali fra scenari distinti di attività corticale.

VISITA GUIDATA NEL CERVELLO INTENTO A COSTRUIRE UNA MENTE COSCIENTE

Immaginiamo il seguente scenario: sto osservando alcuni pellicani, la mattina presto, mentre nutrono i loro piccoli. Volano eleganti sull'oceano, a volte sfiorando la superficie dell'acqua, a volte librandosi più in alto. Quando individuano un pesce, improvvisamente si tuffano verso la superficie dell'oceano, tenendo il becco in assetto di atterraggio come un Concorde, e le ali tirate indietro in una splendida forma a delta. Scompaiono in acqua per riemergerne un secondo dopo, trionfanti, con un pesce.

I miei occhi sono impegnati a seguire i pellicani; mentre gli uccelli si muovono, più o meno lontani da me, i miei cristallini modificano la distanza focale, le pupille si adeguano alle variazioni di luce e i muscoli oculari si danno da fare per seguire i rapidi movimenti degli uccelli; il collo contribuisce con regolazioni appropriate, e la mia curiosità e il mio interesse sono ricompensati dall'osservazione di un rituale così straordinario; mi sto proprio godendo lo spettacolo.

Quale conseguenza di tutta questa fremente attività, nello scenario reale come nel cervello, alla mia corteccia visiva arrivano segnali appena approntati dalle mappe retiniche, che localizzano i pellicani e identificano nel loro aspetto l'oggetto da conoscere. Viene così creata

una profusione di immagini in movimento. Su tracce parallele, i segnali sono elaborati in diverse regioni cerebrali: nei campi oculari frontali (area 8, interessata ai movimenti oculari, ma non alle immagini visive per sé); nella corteccia somatosensoriale laterale (che traccia l'attività muscolare della testa, del collo e della faccia); nelle strutture del tronco encefalico, del prosencefalo basale, dei gangli basali e delle cortecce dell'insula implicate nell'emozione (strutture le cui attività combinate contribuiscono a generare i miei sentimenti piacevoli nei confronti della scena); nei collicoli superiori (le cui mappe stanno ricevendo informazioni sulla scena visiva, i movimenti oculari, e lo stato del corpo); e, infine, nei nuclei associativi del talamo, coinvolti in tutto il traffico di segnali che ha luogo nelle regioni della corteccia e del tronco encefalico.

E qual è il risultato di tutti questi cambiamenti? Le mappe che tracciano lo stato dei portali sensoriali e quelle che hanno a che fare con lo stato interno dell'organismo stanno registrando una perturbazione. Una modificazione del sentimento primordiale del proto-sé ora si traduce in diverse sensazioni di conoscenza, relative agli oggetti causativi. Ne consegue che le mappe visive recenti dell'oggetto da conoscere (lo stormo di pellicani intenti alla caccia) sono rese più prominenti rispetto ad altri materiali elaborati dalla mia mente in modo non cosciente. Questi ultimi potrebbero competere per essere trattati a livello cosciente, ma non la spunterebbero: per una molteplicità di ragioni, infatti, i pellicani sono estremamente interessanti per me, il che significa che hanno un valore. I nuclei legati al sistema della ricompensa in regioni quali l'area tegmentale ventrale del tronco encefalico, il nucleus accumbens e i gangli basali eseguono lo speciale trattamento delle immagini dei pellicani liberando selettivamente alcuni neuromodulatori nelle aree che creano le immagini. Da questi sentimenti di conoscenza emerge una sensazione di possesso delle immagini, come pure un senso di azione. Al-

lo stesso tempo, i cambiamenti che hanno luogo nei portali sensoriali hanno collocato l'oggetto da conoscere in una prospettiva ben definita rispetto a me.[12]

Da questa mappa cerebrale su scala globale, gli stati del sé nucleare emergono come pulsazioni. Improvvisamente, però, squilla il telefono e l'incantesimo si rompe. La mia testa e i miei occhi si spostano con riluttanza, ma inesorabilmente, verso il ricevitore. Mi alzo. E tutto il ciclo di costruzione della mente cosciente si riavvia, questa volta concentrato sul telefono. I pellicani sono scivolati fuori dalla mia vista e dalla mia mente; in scena, adesso, è entrato il telefono.

9
IL SÉ AUTOBIOGRAFICO

LA MEMORIA DIVENTA COSCIENTE

Le autobiografie sono costituite di ricordi personali, la somma totale delle esperienze della nostra vita, comprese quelle dei progetti che abbiamo fatto per il futuro, specifici o vaghi che siano. Il sé autobiografico – un'autobiografia resa cosciente – attinge dall'intero orizzonte della nostra storia memorizzata, remota e recente. In quella storia, sono comprese le esperienze sociali di cui siamo stati parte, o di cui avremmo voluto far parte; vi sono ugualmente compresi i ricordi che descrivono le nostre esperienze emozionali più raffinate, e precisamente quelle che hanno i requisiti per essere definite spirituali.

Mentre il sé nucleare pulsa incessantemente, sempre «online», passando da un accenno appena abbozzato a una presenza manifesta, il sé autobiografico conduce una doppia vita. A un estremo, può essere esplicito, dando luogo alla mente cosciente nella sua espressione più alta e profondamente umana; all'altro estremo, può rimanere dormiente, con le sue innumerevoli componenti in attesa del proprio turno per attivarsi. Questa seconda vita del sé autobiografico si svolge in privato, lontano dalla coscienza accessibile, e forse è proprio lì – in termini di luogo e di tempo – che il sé matura grazie alla pro-

gressiva sedimentazione e alla rielaborazione della memoria. Nel momento in cui le esperienze vissute sono ricostruite e ri-esperite, sia nel corso della riflessione cosciente, sia in una elaborazione non cosciente, la loro sostanza viene rivalutata e inevitabilmente riorganizzata, e subisce modificazioni che, in termini di composizione fattuale e accompagnamento emozionale, possono essere minime o molto significative. Durante questo processo, entità ed eventi acquistano un nuovo peso emozionale. In sala di montaggio, alcuni fotogrammi della rievocazione sono lasciati cadere sul pavimento, altri vengono rigenerati e migliorati, e altri ancora sono combinati così abilmente dalla nostra volontà o dai capricci del caso da creare scene nuove, che non sono mai state girate. Ecco perché, con il passare degli anni, la nostra storia viene impercettibilmente riscritta. Ecco perché i fatti possono acquistare un nuovo peso e perché oggi la musica della memoria è diversa da quella dell'anno scorso.

In termini neurologici, questo lavoro di costruzione e ricostruzione si svolge in larga misura come elaborazione non cosciente e, per quello che ne sappiamo, forse ha luogo anche nei sogni; in qualche caso, tuttavia, può affiorare a livello della coscienza. Esso si avvale dell'architettura delle zone di convergenza-divergenza per trasformare la conoscenza criptata, presente nello spazio delle disposizioni, nelle rappresentazioni esplicite e decrittate contenute nello spazio delle immagini.

Considerata l'abbondanza delle registrazioni riguardanti il nostro passato vissuto e il nostro futuro anticipato, è una fortuna che non occorra rievocarle tutte, e nemmeno la maggior parte, ogni volta che il nostro sé opera nella modalità autobiografica. Nemmeno Proust avrà dovuto attingere a tutto il suo remoto passato fitto di dettagli per costruire un istante del suo sé maturo in tutta la sua qualità proustiana. Invece – ed è un gran sollievo – facciamo affidamento su alcuni episodi chiave (in realtà su una raccolta di episodi): a seconda delle esigenze del momento, ci limitiamo a rievocarne alcuni, in

quanto rilevanti rispetto a quello nuovo. In certe situazioni, il numero degli episodi richiamati può essere elevatissimo, un'autentica inondazione di ricordi permeati delle emozioni e dei sentimenti originariamente associati agli episodi stessi. (Si può sempre contare su Bach per indurre qualcosa del genere). Ma anche quando il numero degli episodi è limitato, la complessità degli elementi da ricordare implicati nella strutturazione del sé è a dir poco enorme, ed è proprio qui che risiede il problema della costruzione del sé autobiografico.

LA COSTRUZIONE DEL SÉ AUTOBIOGRAFICO

Io sospetto che la strategia usata dal cervello per la costruzione del sé autobiografico sia la seguente. In primo luogo, occorre raggruppare insiemi significativi di ricordi biografici definitori, in modo che ciascuno di essi possa essere facilmente trattato come un singolo oggetto. Ognuno di tali oggetti può modificare il proto-sé e produrre una sua pulsazione del sé nucleare, dando luogo, a ruota, ai rispettivi sentimenti di conoscenza e alla prominenza conseguentemente accordata all'oggetto stesso. In secondo luogo, poiché gli oggetti presenti nella nostra biografia sono numerosissimi, il cervello necessita di dispositivi in grado di coordinare l'evocazione dei ricordi, di consegnarli al proto-sé per la necessaria interazione, e di conservare i risultati di quest'ultima in una configurazione coerente connessa agli oggetti causativi. Non si tratta di un problema banale; in effetti, i livelli complessi del sé autobiografico – quelli che, per esempio, riguardano importanti aspetti sociali – comprendono un numero così grande di oggetti biografici da richiedere numerose pulsazioni del sé nucleare. Di conseguenza, per costruire il sé autobiografico occorre un apparato neurale in grado sia di procurarsi molteplici pulsazioni del sé nucleare all'interno di una breve finestra tempo-

rale e per un gran numero di componenti, sia di tenere temporaneamente insieme i risultati di tali operazioni.

Da un punto di vista neurale, il processo di coordinamento è complicato soprattutto dal fatto che le immagini costituenti un'autobiografia sono in larga misura realizzate – sulla base della rievocazione di informazioni archiviate nelle cortecce disposizionali – nello spazio di lavoro delle immagini, ovvero nella corteccia cerebrale; ciò nondimeno, per essere rese coscienti, quelle stesse immagini devono interagire con l'apparato del proto-sé, il quale, come abbiamo visto, è in larga misura localizzato nel tronco encefalico. La costruzione di un sé autobiografico richiede dunque meccanismi di coordinamento molto raffinati, dei quali la costruzione del sé nucleare può invece, in linea di massima, fare a meno.

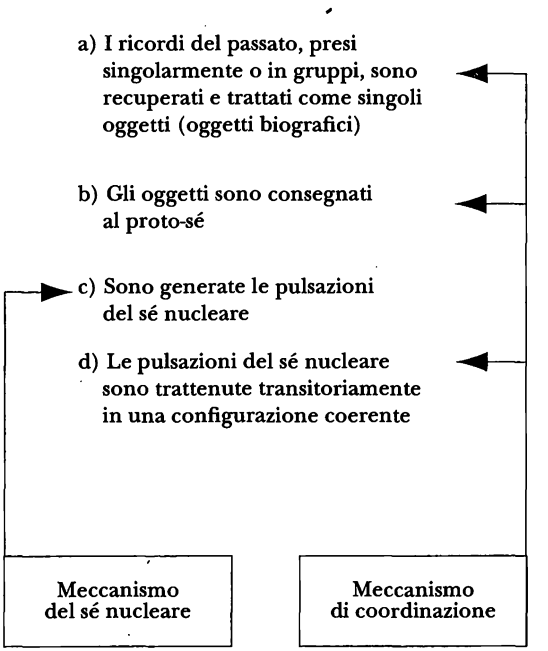


Figura 9.1 Il sé autobiografico: meccanismi neurali.

Quale ipotesi di lavoro, allora, si può affermare che la costruzione del sé autobiografico dipende da due meccanismi congiunti. Il primo di essi è subordinato a quello del sé nucleare e garantisce che ciascun insieme di ricordi autobiografici sia trattato come un singolo oggetto e reso cosciente in una pulsazione del sé nucleare. Il secondo meccanismo mette a segno un'operazione di coordinamento che interessa tutto il cervello e che prevede i seguenti passaggi: 1) alcuni contenuti sono evocati dalla memoria e rappresentati come immagini; 2) le immagini possono interagire in modo ordinato con un altro sistema – precisamente il proto-sé – localizzato altrove nel cervello; e 3) i risultati dell'interazione sono tenuti insieme in modo coerente all'interno di una particolare finestra temporale.

Le strutture coinvolte nella costruzione del sé autobiografico comprendono tutte quelle necessarie per il sé nucleare – localizzate nel tronco encefalico, nel talamo e nella corteccia cerebrale –, oltre a quelle coinvolte nei meccanismi di coordinamento discussi qui sotto.

IL PROBLEMA DEL COORDINAMENTO

Prima di dire una parola di più sul coordinamento, vorrei accertarmi di non essere frainteso. I dispositivi di coordinamento che sto ipotizzando *non* sono teatri cartesiani (al loro interno non è allestita alcuna rappresentazione). *Non* si tratta di centri della coscienza (non esiste nulla di simile). *Non* sono omuncoli interpreti (non hanno alcuna conoscenza e non interpretano niente). Sono esattamente quello che sto ipotizzando che siano, e nulla più. Sono *organizzatori* spontanei di un processo. I risultati dell'intera operazione *non si materializzano all'interno dei dispositivi di coordinamento,* bensì *altrove,* e specificamente all'interno delle strutture del cervello che

formano le immagini e generano la mente, localizzate nella corteccia cerebrale e nel tronco encefalico.

Il coordinamento non è guidato da un qualche misterioso agente esterno al cervello, ma da fattori naturali: per esempio, l'ordine con cui i contenuti, sotto forma di immagini, vengono immessi nel processo della mente, e il valore che viene loro riconosciuto. Come avviene la valutazione? Ogni immagine elaborata dal cervello è automaticamente stimata e associata a un valore, in un processo fondato sulle disposizioni: sia quelle originali del cervello (il suo sistema di valore biologico), sia quelle acquisite mediante l'apprendimento nell'arco di tutta la vita. La marcatura in base al valore – aggiunta durante la percezione originale e registrata insieme all'immagine – è ravvivata a ogni rievocazione. In breve, di fronte a certe sequenze di eventi e a una gran messe di conoscenza passata, filtrata e marcata in base al valore, i dispositivi di coordinamento del cervello contribuiscono organizzando i contenuti attuali. Inoltre, i dispositivi di coordinamento consegnano le immagini al sistema del proto-sé e infine trattengono i risultati dell'interazione (pulsazioni del sé nucleare) in una configurazione transitoria coerente.

I COORDINATORI

Nell'ipotesi di lavoro qui presentata, il primo stadio della realizzazione del sé autobiografico, a livello neurale, richiede strutture e meccanismi che sono già stati discussi per il sé nucleare. Vi è tuttavia qualcosa di distintivo nelle strutture e nei meccanismi necessari a realizzare il secondo stadio del processo, e in particolare il coordinamento già descritto che interessa il cervello nella sua totalità.

Quali sono i candidati a questo ruolo di coordinamen-

to su ampia scala? Vengono in mente diverse strutture possibili, delle quali tuttavia solo alcune possono essere prese seriamente in considerazione. Un candidato importante è il talamo, in particolare l'insieme dei suoi nuclei associativi: una presenza costante in qualsiasi discussione sulle basi neurali della coscienza. La posizione dei nuclei talamici, intermedia fra la corteccia cerebrale e il tronco encefalico, è ideale per la gestione e il coordinamento dei segnali. Sebbene sia già abbastanza impegnato a costruire il tessuto di fondo di qualsiasi immagine, quando si tratta di coordinare i contenuti che definiscono il sé autobiografico, il talamo associativo ha un ruolo molto importante, anche se forse non il più importante in assoluto. Ritornerò sul tema del talamo e del coordinamento nel prossimo capitolo.

Quali sono le altre possibili candidature? Ve n'è una, che appare molto convincente, ed è quella di un insieme composito di regioni, presenti in entrambi gli emisferi, le cui connessioni mostrano un'architettura caratteristica. Ciascuna regione è un nodo macroscopico localizzato in corrispondenza di un importante incrocio tra vie di segnalazione convergente e divergente. Nel capitolo 6 le ho descritte come regioni di convergenza-divergenza (RCD) e ho specificato che ciascuna di esse è costituita da numerose zone di convergenza-divergenza. Le RCD sono localizzate strategicamente all'interno delle cortecce associative di ordine superiore, ma non all'interno delle cortecce sensoriali che creano le immagini. Esse si materializzano in siti quali la giunzione temporoparietale, le cortecce temporali laterali e mediali, le cortecce parietali laterali, le cortecce frontali laterali e mediali, e le cortecce posteromediali. Queste RCD conservano la registrazione di conoscenze acquisite in precedenza riguardanti i temi più vari; l'attivazione di una qualsiasi di queste regioni promuove la ricostruzione – per mezzo della divergenza e della retroattivazione nelle aree che creano

immagini – di vari aspetti della conoscenza passata, compresi quelli pertinenti alla biografia e quelli che descrivono conoscenze genetiche, non personali.

È plausibile che le principali RCD siano ulteriormente integrate da connessioni cortico-corticali a lungo raggio del tipo identificato da Jules Déjérine un secolo fa; tali connessioni introdurrebbero un ulteriore livello di coordinamento fra aree diverse.

Una delle principali RCD, la corteccia posteromediale (CPM), sembra essere, da un punto di vista funzionale,

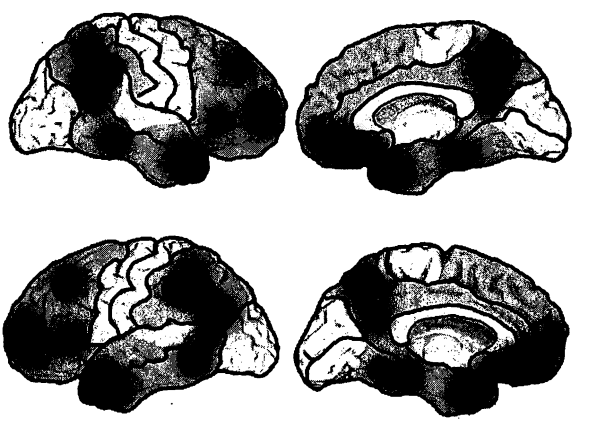


Figura 9.2 Il compito di coordinare le varie immagini generate dai processi di percezione e rievocazione è coadiuvato dalle regioni di convergenza-divergenza (RCD), localizzate all'interno delle cortecce associative non mappate. La localizzazione approssimativa delle principali RCD è indicata nei disegni (aree ombreggiate più scure): cortecce temporali polare e mediale, corteccia prefrontale mediale, giunzioni temporoparietali e corteccia posteromediale (CPM). Con ogni probabilità vi sono altre regioni simili. La maggior parte delle RCD rappresentate nella figura fa anche parte della «rete di default» di Raichle discussa in seguito in questo capitolo. Per l'architettura di queste regioni, si vedano il capitolo 6 e le figure 6.1 e 6.2. Per i dettagli sulle connessioni di una regione di convergenza-divergenza, la CPM, si veda la figura 9.4.

gerarchicamente superiore rispetto alle altre, dalle quali si distingue per diversi tratti anatomici e funzionali. Dieci anni fa ipotizzai che la regione CPM fosse legata al processo del sé, sebbene non nel ruolo che immagino adesso. Le informazioni ottenute negli ultimi anni hanno indicato l'effettivo coinvolgimento di questa regione nella coscienza, e in modo specifico nei processi legati al sé; hanno inoltre fornito dati in precendenza non disponibili riguardanti la sua neuroanatomia e la sua fisiologia. (Queste informazioni sono discusse nelle parti finali del capitolo).

L'ultimo candidato è poco conosciuto, ma potrebbe rivelarsi vincente: è il claustro, una struttura misteriosa, strettamente legata alle RCD. Situato fra la corteccia dell'insula e i gangli basali di ciascun emisfero, il claustro ha connessioni corticali che potrebbero avere un potenziale ruolo di coordinamento. Francis Crick era convinto che il claustro fosse una sorta di regista delle operazioni sensoriali responsabili di legare fra loro le diverse componenti di un percetto multisensoriale. Le evidenze derivanti dalla neuroanatomia sperimentale rivelano effettivamente la presenza di connessioni con varie regioni sensoriali, il che rende perfettamente plausibile un suo ruolo di coordinamento. Fatto interessante, il claustro ha una robusta proiezione verso la CPM, l'importante regione di convergenza-divergenza già menzionata. La scoperta di questo forte legame ha avuto luogo solo dopo la morte di Crick, e quindi non è stata inclusa nell'articolo, pubblicato postumo, che egli scrisse con Christof Koch e in cui aveva esposto le sue posizioni.[1] Quando si candida il claustro al ruolo di coordinatore, considerando il lavoro da eseguire, il problema sta nella piccola scala di questa struttura. D'altro canto, giacché non dovremmo aspettarci che nessuna delle strutture qui discusse svolga il lavoro di coordinamento in esclusiva, non vi è ragione perché il claustro non possa dare un importante contributo alla costruzione del sé autobiografico.

UN POSSIBILE RUOLO DELLA CORTECCIA POSTEROMEDIALE

Per determinare il ruolo specifico della CPM nella costruzione della coscienza occorrono ulteriori ricerche. Più avanti, in questo stesso capitolo, analizzerò i dati provenienti da diverse fonti: le ricerche sull'anestesia, sul sonno e su alcune condizioni neurologiche (che spaziano dal coma e dallo stato vegetativo alla malattia di Alzheimer), insieme agli studi sui processi legati al sé condotti con tecniche di neuroimmagine funzionale. Prima, però, esaminiamo i dati sulla CPM che appaiono più solidi e interpretabili, e cioè quelli derivanti dalla neuroanatomia sperimentale. Farò qualche ipotesi sui possibili meccanismi della CPM e sulle ragioni per le quali questa regione dovrebbe essere studiata.

Quando proposi che la CPM avesse un ruolo nel generare la soggettività, dietro a quell'idea vi erano due ragionamenti. Il primo riguardava il comportamento e il presunto stato mentale dei pazienti neurologici con un danno focale localizzato in questa regione, per esempio il danno associato agli stadi terminali della malattia di Alzheimer, o anche a casi estremamente rari di ictus e metastasi cerebrali. L'altro ragionamento si rifaceva alla ricerca teorica di una regione cerebrale fisiologicamente adatta a unire le informazioni riguardanti *tanto* l'organismo, *quanto* gli oggetti e gli eventi con i quali esso interagisce. La CPM era uno dei miei candidati, giacché pareva essere localizzata in corrispondenza di un'intersezione delle vie nervose coinvolte nel traffico delle informazioni provenienti dai visceri (enterocettive), dal sistema muscoloscheletrico (propriocettive e chinestetiche) e dal mondo esterno (esterocettive). Gli aspetti fattuali del quadro non sono in discussione, ma non vedo più la necessità del ruolo funzionale che avevo prospettato a suo tempo. Nondimeno, l'ipotesi stimolò indagini che produssero nuovi dati importanti.

Far progressi sulla base di quell'ipotesi non fu cosa facile; il problema principale stava nel fatto che le informazioni neuroanatomiche disponibili su questa regione erano molto limitate. Studi importanti avevano cominciato a descrivere la connettività di alcune parti della CPM,[2] ma il suo schema di connessione generale non era stato studiato. In effetti, la regione non era ancora designata con un termine-ombrello, ma con quelli riferiti alle sue parti componenti: la corteccia del cingolo posteriore, la corteccia retrospleniale e il precuneo. La CPM, comunque la si voglia chiamare, non era ancora oggetto di attenzione come area cerebrale degna di particolare nota.

Per esplorare l'ipotesi che la CPM fosse implicata nella coscienza, fu necessario acquisire informazioni, prima non disponibili, sulla neuroanatomia delle sue connessioni. Per questa ragione, il nostro gruppo di ricerca intraprese uno studio di neuroanatomia sperimentale sui primati non umani; gli esperimenti furono eseguiti nel laboratorio di Josef Parvizi in collaborazione con Gary Van Hoesen. Lo studio – condotto su macachi – consisteva essenzialmente nel praticare numerose iniezioni di traccianti biologici in tutti i territori dei quali si doveva studiare la connettività neurale. Una volta iniettati in una data regione cerebrale, i traccianti biologici sono assorbiti dai singoli neuroni e trasportati lungo gli assoni fino alla destinazione naturale di questi ultimi, quale che sia la struttura a cui il neurone è connesso: questi sono i cosiddetti traccianti anterogradi. Un altro tipo di tracciante biologico, il tipo retrogrado, viene assorbito dai terminali assonici e trasportato in senso inverso: dal luogo in cui si trovano i terminali, qualunque esso sia, fino al corpo cellulare del neurone, nel suo sito di origine. Lo spostamento del tracciante consente di individuare, per ciascuna regione bersaglio, i siti di origine delle connessioni che la regione stessa riceve, come pure i siti ai quali la regione studiata invia i suoi messaggi.

La CPM è costituita da diverse sottoregioni. (Nella mappa citoarchitettonica di Brodmann, si tratta delle

Figura 9.3 Localizzazione della corteccia posteromediale nel cervello umano. In alto, emisfero destro; in basso, emisfero sinistro.

aree 23a/b, 29, 30, 31 e 7m). L'interconnettività di queste sottoregioni è talmente intricata che, in una certa misura, è ragionevole trattarle come un'unità funzionale. I particolari rapporti di connessione all'interno dei sottosettori svelano la possibilità che alcune di esse abbiano ruoli funzionali distinti. Il termine ombrello che abbiamo coniato per l'ensemble sembra comunque giustificato, almeno per adesso.

Le connessioni della CPM, così come furono descritte nella prima pubblicazione scaturita da queste indagini difficili e assai dispendiose in termini di tempo,[3] sono mostrate schematicamente nella figura 9.4 e possono essere spiegate come segue:

1. Gli input provenienti dalle cortecce associative temporale e parietale, come pure dalle cortecce entorina-

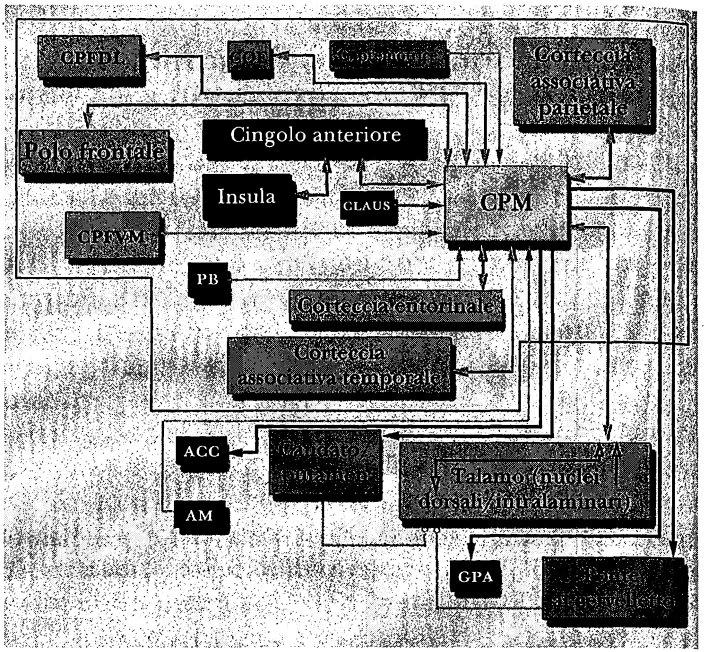


Figura 9.4 Le connessioni neurali da e verso la corteccia posteromediale (CPM), determinate in uno studio condotto nelle scimmie. Abbreviazioni: c. = corteccia; CPFDL = corteccia prefrontale dorsolaterale; COF = campi oculari frontali; CPFVM = corteccia prefrontale ventromediale; PB = prosencefalo basale; CLAUS = claustro; ACC = nucleo accumbens; AM = amigdala; GPA = grigio periacqueduttale.

le e frontale, convergono sulla CPM insieme a quelli provenienti dalla corteccia del cingolo anteriore (una delle principali regioni riceventi proiezioni dall'insula), dal claustro, dal prosencefalo basale, dall'amigdala, dalla regione premotrice e dai campi oculari frontali. I nuclei talamici intralaminari e dorsali proiettano anch'essi alla CPM.

2. Con poche eccezioni, i siti da cui originano gli input convergenti sulla CPM ricevono da essa, a loro volta, output divergenti: rappresentano un'eccezione, in tal senso, la corteccia prefrontale ventromediale, il clau-

stro e i nuclei intralaminari del talamo. Vi sono poi alcuni siti che non proiettano alla CPM ma che ricevono le sue proiezioni: si tratta, precisamente, del caudato, del putamen, del nucleus accumbens e del grigio periacqueduttale.

3. Non vi sono connessioni dirette dalla CPM alle cortecce sensoriali di ordine inferiore o alle cortecce motrici primarie; né vi sono connessioni dirette da queste cortecce alla CPM.
4. Dai risultati descritti al punto 1 e 2, è evidente che la CPM è una regione di convergenza-divergenza di alto livello. Si tratta di un membro importante del gruppo delle RCD che io considero candidati promettenti al ruolo di coordinatore dei contenuti della mente cosciente; essa ha inoltre un'importante connessione con un altro potenziale coordinatore, il claustro, che proietta in misura significativa alla CPM ma riceve scarse afferenze reciproche.

Uno studio recente condotto sugli esseri umani ha corroborato l'idea che la CPM sia neuroanatomicamente distinta.[4] Lo studio, diretto da Olaf Sporns, ha fatto uso di una moderna tecnica di risonanza magnetica, la DSI (*Diffusion Spectrum Imaging*), che produce immagini delle connessioni neurali e della loro approssimativa distribuzione spaziale. Gli autori hanno usato i dati così ottenuti per costruire mappe che mostrano l'organizzazione delle connessioni in tutta la corteccia cerebrale umana; vi hanno così identificato diversi hub – siti ad alta connettività –, molti dei quali corrispondono alle RCD che ho discusso fin qui. Gli autori dello studio hanno inoltre concluso che la regione CPM costituisce un hub con caratteristiche uniche, giacché intrattiene con altri hub rapporti più stretti di qualsiasi altro sito ad alta connettività.

Ci troviamo ora in una posizione migliore per immaginare come la CPM possa contribuire alla creazione della mente cosciente. Sebbene rappresenti una porzione considerevole della corteccia cerebrale, il potere della CPM non risiede tanto nei suoi possedimenti territoriali, quanto nelle sue relazioni. La CPM riceve segnali – e in larga misura ricambia la cortesia – dalla maggior parte delle regioni sensoriali associative di ordine superiore e dalle regioni premotrici. Le aree cerebrali ricche di zone di convergenza-divergenza, che hanno la chiave per accedere a insiemi compositi di informazione multimodale, sono pertanto in grado di segnalare alla CPM e in linea di massima possono ricevere a loro volta i suoi segnali. La CPM riceve anche segnali da nuclei sottocorticali coinvolti nello stato di veglia e a sua volta invia segnali a numerose regioni sottocorticali implicate nell'attenzione e nella ricompensa (a livello del tronco encefalico e del prosencefalo basale), come pure a regioni in grado di produrre routine motorie (per esempio i gangli basali e il grigio periacqueduttale).

Che cosa riguardano, probabilmente, tutti questi segnali in entrata? E che cosa ne fa la CPM? Non lo sappiamo per certo, ma l'enorme sproporzione fra la profusione e l'intensità delle proiezioni dirette alla CPM e le effettive dimensioni del suo territorio suggerisce una risposta: la CPM è perlopiù un'eredità antica, un territorio che si penserebbe impegnato nella gestione delle disposizioni, più che delle mappe esplicite: non è una moderna corteccia sensoriale di ordine inferiore, come quelle della visione o dell'udito, dove possono essere assemblate mappe dettagliate di oggetti ed eventi. Possiamo dire che la galleria della CPM non ha abbastanza spazio, sulle pareti, per esporre grandi dipinti oppure, se vogliamo, per allestire spettacoli di marionette. D'altra parte, va bene lo stesso, giacché anche le cortecce che inviano segnali alla CPM non sono come le cortecce sensoriali di ordi-

ne inferiore: anch'esse non possono esporre grandi dipinti né allestire spettacoli di marionette più di quanto possa farlo la CPM, e anch'esse sono in larga misura disposizionali; proprietarie di zone di convergenza-divergenza contenenti informazioni registrate.

Vista la sua organizzazione, la CPM – nel suo complesso e insieme ai suoi sottomoduli componenti – probabilmente si comporta essa stessa come una regione di convergenza-divergenza. Io immagino che l'informazione controllata dalla CPM e dai suoi partner possa essere riprodotta solo re-inviando segnali ad altre RCD del gruppo, le quali a loro volta possono inviare segnali alle cortecce sensoriali di ordine inferiore. Queste sono le cortecce in cui le immagini possono essere create e presentate, ovvero i siti in cui è possibile esporre grandi tele e allestire spettacoli di marionette. Rispetto ad altre regioni di convergenza-divergenza con le quali è interconnessa, la CPM ha uno speciale rango gerarchico: si trova più in alto sul totem, ed è in grado di dialogare in modo interattivo con le altre RCD.

In che modo, allora, la CPM contribuisce alla coscienza? Partecipando all'assemblaggio degli stati del sé autobiografico. Ecco come l'immagino io: originariamente, attività sensoriali e motorie separate, legate all'esperienza personale, saranno state mappate nelle regioni cerebrali appropriate a livello corticale e sottocorticale, e i dati saranno stati registrati nelle ZCD e nelle RCD. A sua volta, la CPM avrà costituito una RCD di ordine superiore interconnessa con le altre. Questa organizzazione avrà consentito all'attività all'interno della CPM di accedere a insiemi di dati più ampi e altamente distribuiti, con il vantaggio che il comando d'accesso sarebbe arrivato da un territorio relativamente piccolo e pertanto più gestibile dal punto di vista spaziale. La CPM poteva sostenere presentazioni di conoscenza momentanee e temporaneamente coese.

Se la connettività neuroanatomica della CPM è degna di nota, altrettanto lo è la sua localizzazione. La CPM è si-

tuata nei pressi della linea mediana, con la porzione sinistra che guarda la destra al di là del solco interemisferico. Questa posizione geografica nel volume cerebrale è conveniente per instaurare connessioni convergenti e divergenti con la maggior parte delle regioni del mantello corticale, ed è ideale per ricevere segnali dal talamo, e inviarne di rimando. Curiosamente, la localizzazione della CPM consente anche una protezione dagli impatti esterni; inoltre, essendo irrorata da tre vasi sanguigni importanti e indipendenti, la regione viene a essere relativamente immune nei confronti di danni vascolari o traumi che potrebbero distruggerla in modo radicale.

Come ho sottolineato in precedenza, le strutture che hanno a che fare con la coscienza condividono diversi tratti anatomici. In primo luogo, a livello corticale o sottocorticale esse tendono a essere di origine antica. Questo non dovrebbe sorprendere giacché, sebbene abbiano avuto luogo tardi nell'evoluzione biologica, gli esordi della coscienza non sono assolutamente uno sviluppo recente. In secondo luogo, tanto le strutture corticali, quanto quelle sottocorticali tendono a essere collocate sulla linea mediana o nei suoi pressi, e proprio come nel caso della CPM destra e sinistra, guardano le strutture gemelle dall'altra parte della linea mediana: questo accade nel caso dei nuclei talamici e ipotalamici, come pure in quello dei nuclei tegmentali del tronco encefalico. Qui, l'età evolutiva e la convenienza della localizzazione rispetto alla distribuzione diffusa dei segnali sono strettamente correlate.

Nei confronti della rete delle RCD corticali, la CPM opererebbe come un partner. Tuttavia, il ruolo delle altre RCD e l'importanza del sistema del proto-sé è tale che probabilmente, anche in seguito a un'ipotetica distruzione completa della regione CPM, la coscienza sarebbe compromessa ma non abolita purché tutte le altre RCD e il sistema del proto-sé rimanessero intatti. La coscienza sarebbe ripristinata, sebbene non al massimo grado. Nel caso degli ultimi stadi della malattia di Alzheimer, che

descriverò nella prossima sezione, la situazione è diversa, nel senso che l'insulto subìto dalla CPM è virtualmente l'ultima goccia in un processo di graduale devastazione che ha già invalidato altre RCD e il sistema del proto-sé.

ALTRE CONSIDERAZIONI SULLA CORTECCIA POSTEROMEDIALE

Ricerche sull'anestesia

Per alcuni aspetti, l'anestesia generale è un mezzo ideale per indagare la neurobiologia della coscienza. Si tratta di uno degli sviluppi più spettacolari della medicina e ha salvato la vita di milioni di persone altrimenti inoperabili. Spesso si pensa all'anestesia generale come a un analgesico, perché i suoi effetti impediscono di avvertire il dolore causato dalle ferite chirurgiche. La verità, però, è che l'anestesia preclude il dolore nel modo più radicale possibile; essa infatti sospende del tutto la coscienza: non soltanto il dolore, ma tutti gli aspetti della mente cosciente.

Un'anestesia superficiale riduce leggermente la coscienza lasciando spazio, in una certa misura, all'apprendimento inconscio e all'occasionale «affiorare» dell'elaborazione cosciente. L'anestesia profonda, d'altra parte, penetra completamente nel processo della coscienza e, a tal proposito, costituisce una variazione farmacologicamente controllata dello stato vegetativo o addirittura del coma. Questo è esattamente ciò che serve a un chirurgo per lavorare indisturbato su un cuore o su un'anca. Il paziente deve essere lontano, lontanissimo dal tavolo operatorio, incapace di muoversi e così profondamente addormentato che i suoi muscoli hanno il tono della gelatina. L'anestesia necessaria per operare è quella dello stadio III: il paziente non ode nulla, non sente nulla e non pensa a nulla. Se il chirurgo gli rivolge la parola, non risponde.

Nel corso della storia, l'anestesia ha messo a disposizione dei chirurghi numerosi agenti farmacologici con cui lavorare, e la ricerca di molecole che funzionino nel modo più efficace presentando una scarsa tossicità e comportando rischi minimi è tuttora in corso. In linea di massima, gli anestetici svolgono il loro compito aumentando l'inibizione a livello dei circuiti neurali. Questo si può ottenere rafforzando l'azione del GABA (acido gamma-aminobutirrico), che nel cervello è il principale trasmettitore ad azione inibitoria. Gli anestetici agiscono iperpolarizzando i neuroni e bloccando l'acetilcolina, una molecola importante nella normale comunicazione interneuronale. Un tempo era convinzione comune che gli agenti anestetici esercitassero la loro azione deprimendo la funzione cerebrale in modo indiscriminato, riducendo l'attività dei neuroni praticamente ovunque. Studi recenti hanno invece dimostrato che alcuni anestetici agiscono in modo molto selettivo, esercitando la loro azione a livello di siti cerebrali specifici. Un esempio, a tal proposito, è quello del propofol. Come mostrano alcuni studi di neuroimmagine funzionale, esso produce il suo splendido effetto agendo principalmente su tre siti: la corteccia posteromediale, il talamo e il tegmento del tronco encefalico. Sebbene l'importanza relativa di ciascuno di questi siti nella produzione dell'incoscienza sia sconosciuta, la diminuzione del livello di coscienza è correlata alla riduzione del flusso ematico regionale nella corteccia posteromediale. Le evidenze, tuttavia, vanno ben oltre il propofol: altri agenti anestetici sembrano avere effetti paragonabili, come ha dimostrato una *review* di ampio respiro. Nell'anestesia indotta dal propofol sono selettivamente depressi tre territori cerebrali paramediani coinvolti nella creazione della coscienza.[5]

Ricerca sul sonno

Il sonno rappresenta un contesto naturale per lo studio della coscienza, e le ricerche che lo riguardano sono

state infatti fra le prime a contribuire alla comprensione del problema. È ormai assodato che i ritmi elettroencefalografici – i tipici pattern di attività elettrica generati dal cervello – sono associati a stadi del sonno specifici. È notoriamente difficile ricondurre l'origine dei pattern elettroencefalografici a particolari regioni cerebrali, ed è proprio qui che la localizzazione spaziale consentita dalle tecniche di neuroimmagine funzionale si è rivelata utilissima per completare il quadro. Nell'arco degli ultimi dieci anni, esse hanno infatti consentito di osservare più da vicino, durante i vari stadi del sonno, regioni cerebrali specifiche.

La coscienza è profondamente depressa, per esempio, durante il sonno a onde lente, noto anche come sonno non REM, ossia caratterizzato da movimenti oculari non rapidi. Si tratta del sonno profondo, il classico sonno del giusto, quello dal quale può ridestarci soltanto una sveglia sgarbata e ingiusta. È il «sonno senza sogni», sebbene la completa assenza di questi ultimi sembri valere solo per la prima parte della notte. Gli studi di neuroimmagine funzionale dimostrano che in un certo numero di regioni cerebrali, durante il sonno a onde lente, l'attività è ridotta: ciò avviene soprattutto in alcune parti del tegmento del tronco encefalico (il ponte e il mesencefalo), nel diencefalo (il talamo e l'ipotalamo/prosencefalo basale), nelle parti mediali e laterali della corteccia prefrontale, nella corteccia del cingolo anteriore, nella corteccia parietale laterale, e nella CPM. Nel sonno a onde lente, la riduzione funzionale è meno selettiva rispetto a quanto osservato nell'anestesia generale (del resto non vi è ragione perché le modalità debbano essere le stesse); come nell'anestesia, però, non vi sono indicazioni di una depressione funzionale indiscriminata. Il fenomeno interessa in modo prominente le tre strutture legate alla creazione della coscienza (tronco encefalico, talamo e CPM), le quali risultano tutte e tre depresse.

La coscienza è depressa anche durante il sonno REM (con movimenti oculari rapidi), nel corso del quale so-

no assai frequenti i sogni. Il sonno REM, tuttavia, consente ai contenuti dei sogni di penetrare nella coscienza: o attraverso l'apprendimento e la successiva rievocazione, o attraverso la cosiddetta coscienza paradossa. Le regioni del cervello la cui attività è più marcatamente ridotta durante il sonno REM sono la corteccia prefrontale dorsolaterale e la corteccia parietale laterale; prevedibilmente, a livello della CPM, la riduzione di attività è molto meno marcata.[6]

In breve, il livello di attività della CPM è massimo durante lo stato di veglia e minimo durante il sonno a onde lente; durante il sonno REM la CPM opera a livelli intermedi. Questo è logico: nel sonno a onde lente la coscienza è in larghissima misura sospesa, mentre nel sonno REM gli eventi accadono a un «sé». Certo, il sé del sogno non è il sé normale, tuttavia lo stato cerebrale associato sembra reclutare la CPM.

Il coinvolgimento della CPM nella rete di default

In una serie di studi di immagine funzionale che hanno fatto uso sia della tomografia a emissione di positroni, sia della risonanza magnetica funzionale, Marcus Raichle ha richiamato l'attenzione sul fatto che quando i soggetti si trovano in uno stato di riposo, non impegnati nell'esecuzione di compiti che richiedano un'attenzione concentrata, sembra essere costantemente attivato un particolare sottoinsieme di regioni cerebrali; al contrario, quando l'attenzione si appunta su un compito specifico, l'attività di queste regioni diminuisce leggermente; mai, però, al livello osservato per esempio nell'anestesia.[7] L'insieme di queste regioni comprende la corteccia prefrontale mediale, la giunzione temporoparietale, alcune strutture della corteccia temporale anteriore e mediale, e la CPM: tutte regioni che oggi sappiamo essere estesamente interconnesse. In effetti, gran parte dell'attenzione concentrata sulla CPM è stata solle-

Figura 9.5 Nell'imaging funzionale, la CPM, insieme ad altre regioni di convergenza-divergenza, mostra una significativa attivazione durante l'esecuzione di diversi compiti autoreferenziali. Tali compiti comprendono il richiamo di ricordi autobiografici, l'anticipazione di eventi futuri e l'elaborazione di giudizi morali.

citata proprio dalla sua appartenenza a questo insieme di regioni.

Raichle ha ipotizzato che l'attività di questa rete rappresenti una modalità operativa «di default» che viene interrotta da compiti che richiedono un'attenzione diretta verso l'esterno. Nell'esecuzione di compiti che necessitano invece di un'attenzione rivolta verso l'interno e orientata sul sé (per esempio il richiamo di informazioni autobiografiche e certi stati emozionali), noi e altri abbiamo dimostrato che la riduzione dell'attività della CPM è meno pronunciata o può non apparire affatto. In tali condizioni, anzi, essa può aumentare.[8] Esempi sono la rievocazione di ricordi autobiografici, la rievocazione di progetti per un futuro possibile, alcuni compiti legati alla «teoria della mente» e molti compiti che comportano la formulazione di giudizi su persone o situazioni all'interno di un contesto morale.[9] In tutti questi compiti, tende a essere presente un altro importante sito di attività, anche se non altrettanto esteso: un altro territorio mediale, localizzato anteriormente nella corteccia prefrontale. Sappiamo che da un punto di vista neuroanatomico anche questa è una regione di convergenza-divergenza.

Raichle ha enfatizzato l'aspetto intrinseco della modalità operativa di default e l'ha messo in relazione, molto ragionevolmente, con l'elevatissimo consumo di energia associato all'attività cerebrale intrinseca, in contrapposizione ad attività guidate da stimolazioni esterne: con ogni probabilità, la CPM è, in tutta la corteccia cerebrale, la regione che presenta il metabolismo più elevato.[10] Anche ciò è compatibile con il ruolo che sto proponendo per questa regione nella creazione della coscienza, ovvero quello di un importante integratore/coordinatore che rimarrebbe attivo in ogni istante, cercando di trattenere in una configurazione coerente insiemi altamente disparati di attività di fondo. In che modo l'andamento fluttuante della modalità operativa di default è compatibile con l'idea che una regione come la CPM possa contribuire alla coscienza? Forse esso riflette la coreografia fra primo piano e sfondo, messa in atto dal sé all'interno della mente cosciente. Quando abbiamo bisogno di fare attenzione a stimoli esterni, la nostra mente cosciente porta l'oggetto in esame in primo piano e lascia che il sé si ritiri sullo sfondo. Quando non siamo sollecitati dal mondo esterno, il nostro sé si sposta invece verso il centro del palcoscenico e può anche venire in primo piano quando l'oggetto in esame è la persona stessa, da sola o in un contesto sociale.

Ricerche su alcune condizioni di interesse neurologico

L'elenco delle condizioni di interesse neurologico nelle quali la coscienza è compromessa è fortunatamente breve: il coma e gli stati vegetativi, alcuni tipi di stati epilettici, nonché i cosiddetti stati di mutismo acinetico che possono essere causati da alcuni tipi di ictus, da tumori e dagli stadi terminali della malattia di Alzheimer. Nel coma e negli stati vegetativi, la compromissione è radicale, come se un territorio cerebrale venisse intenzionalmente e brutalmente colpito con una mazza.

Malattia di Alzheimer. L'Alzheimer, una malattia esclu-

sivamente umana, è anche uno dei più gravi problemi sanitari dei tempi moderni. Mentre facciamo i nostri tentativi di comprenderla, però, affiora anche un corollario in qualche modo positivo, giacché essa è diventata una fonte di preziose informazioni sulla mente, sul comportamento e sul cervello. Il contributo dell'Alzheimer alla comprensione della coscienza sta diventando chiaro soltanto ora.

A partire dagli anni Settanta, ho avuto l'opportunità di seguire molti pazienti colpiti da questa malattia e il privilegio di effettuare studi post mortem sul loro cervello effettuando esami sia a livello macroscopico, sia sul materiale microscopico. In quegli anni parte del nostro programma di ricerca era dedicato alla malattia di Alzheimer e il mio collega e stretto collaboratore Gary W. Van Hoesen era uno dei massimi esperti della neuroanatomia del cervello colpito da questa patologia. All'epoca, il nostro principale obiettivo era quello di comprendere in che modo l'alterazione dei circuiti cerebrali osservata nei soggetti con Alzheimer potesse causare il disturbo della memoria che caratterizza la loro condizione.

La maggior parte dei pazienti con la tipica malattia di Alzheimer non ha disturbi della coscienza: né durante i primi stadi della malattia, né a uno stadio intermedio. I primi anni di malattia sono contraddistinti da un progressivo venir meno della capacità di apprendere informazioni fattuali nuove e di rievocare quelle apprese in precedenza. Sono anche comuni difficoltà di giudizio e di orientamento spaziale. In una prima fase la malattia può colpire in modo così lieve che per qualche tempo il paziente può conservare le sue capacità sociali e una parvenza di vita normale.

Al principio degli anni Ottanta, il nostro gruppo di ricerca, che ora comprendeva anche Brad Hyman, individuò nelle estese alterazioni neuropatologiche a livello della corteccia entorinale e dei campi adiacenti della corteccia temporale anteriore una causa plausibile del deficit di memoria fattuale riscontrabile nella malattia

di Alzheimer.[11] L'ippocampo – la struttura cerebrale necessaria per fissare nuovi ricordi fattuali in altre aree del cervello – era a tutti gli effetti disconnesso dalle cortecce entorinale e temporale anteriore. Di conseguenza, non potevano essere appresi nuovi fatti. Inoltre, con il progredire della malattia, la corteccia del lobo temporale anteriore era essa stessa danneggiata a tal punto da impedire l'accesso a informazioni fattuali particolari precedentemente apprese. Il fondamento stesso della memoria autobiografica era eroso e infine annientato esattamente come nei pazienti con una estesa distruzione del lobo temporale causata dall'encefalite erpetica, un'infezione virale che compromette anche, in modo selettivo, le regioni temporali anteriori. La specificità cellulare della malattia di Alzheimer era singolare. I neuroni degli strati II e IV della corteccia entorinale erano trasformati – in gran parte, se non nella loro totalità – in altrettante pietre tombali: la migliore espressione per descrivere ciò che resta dopo che la malattia li ha ridotti a grovigli neurofibrillari. Questo insulto selettivo realizzava un taglio netto, quasi come fosse praticato con un rasoio, nelle vie dirette all'ippocampo, che si servono dello strato II come stazione di relè. E per rendere completa la separazione, l'insulto produceva anche un taglio ugualmente netto nelle vie in uscita dall'ippocampo, che usano invece lo strato IV. C'è poco da meravigliarsi, quindi, se la memoria fattuale dei pazienti con Alzheimer è devastata.

Con il progredire della malattia, però, insieme ad altri disturbi mentali selettivi comincia a soffrire anche l'integrità della coscienza. Inizialmente il problema è prevedibilmente confinato alla coscienza autobiografica. Poiché i ricordi riguardanti eventi personali del passato non possono essere correttamente rievocati, il legame fra eventi attuali e passato vissuto diventa inefficiente. La coscienza riflessiva nell'elaborazione deliberativa offline è compromessa. Con ogni probabilità, questo disturbo – in parte,

sebbene forse non completamente – è ancora da attribuirsi alla disfunzione del lobo temporale mediale.

Ancora più avanti, nella sua marcia inesorabile, la devastazione si estende ben oltre i processi autobiografici. Negli ultimi stadi dell'Alzheimer – osservabili nei pazienti che ricevono cure mediche e assistenza di buona qualità e che quindi sopravvivono più a lungo –, si instaura a poco a poco uno stato virtualmente vegetativo. La connessione di questi pazienti con il mondo è ridotta a tal punto che essi fanno pensare agli individui con mutismo acinetico: è sempre più raro che inizino spontaneamente a interagire con l'ambiente umano e fisico che li circonda; rispondono sempre meno agli stimoli; le loro emozioni sono messe a tacere. Il comportamento è dominato da un'espressione assente, indifferente, vuota, non concentrata, silenziosa.

Come spiegare la svolta che ha luogo nell'ultima fase dell'Alzheimer? Una risposta definitiva non è possibile perché, nel corso degli anni, la patologia si esprime in diversi siti cerebrali, e le alterazioni non sono limitate ai grovigli neurofibrillari. In una certa misura, però, il danno rimane selettivo. Le parti del cervello implicate nella creazione di immagini, e precisamente le cortecce sensoriali – uditiva e visiva – di ordine inferiore, non sono gravate dalla malattia, né lo sono le regioni motrici nella corteccia cerebrale, nei gangli basali e nel cervelletto. D'altro canto, alcune regioni legate alla regolazione dei processi vitali, dalle quali dipende il proto-sé, sono progressivamente danneggiate; esse comprendono non solo la corteccia dell'insula, ma anche il nucleo parabrachiale (un altro dato, questo, accertato dal nostro gruppo di ricerca).[12] Infine, mostrano gravi danni altri settori del cervello ricchi di regioni di convergenza-divergenza, fra cui spicca in modo particolare la CPM.

La ragione per la quale sto prestando una particolare attenzione a questi fatti è che nelle fasi precoci della ma-

lattia la CPM mostra soprattutto placche neuritiche, ma negli stadi terminali il quadro è dominato dalla deposizione di grovigli neurofibrillari: le pietre tombali di neuroni in precedenza sani, alle quali alludevo prima. La loro estesa presenza nella CPM indica che il funzionamento della regione è gravemente compromesso.[13]

Eravamo ben consapevoli delle importanti alterazioni patologiche a livello della CPM, alla quale all'epoca ci riferivamo semplicemente come alla « corteccia del cingolo posteriore e aree limitrofe ». La ripetuta osservazione clinica, negli stadi terminali dell'Alzheimer, di una compromissione della coscienza nei casi di danno focale a questa regione, unitamente alla sua peculiare localizzazione anatomica, mi spinse tuttavia a domandarmi se una CPM seriamente danneggiata non potesse essere la goccia che fa traboccare il vaso.[14]

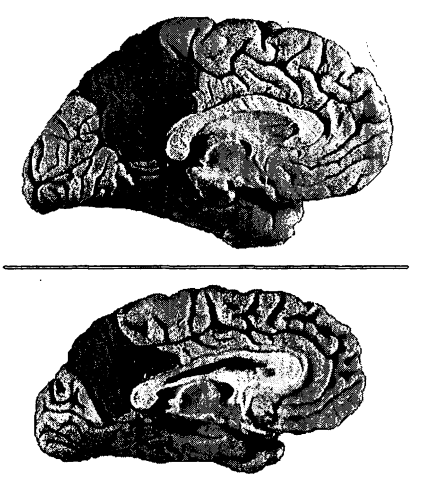


Figura 9.6 Il disegno in alto mostra la superficie mediale dell'emisfero cerebrale sinistro in un individuo anziano normale. La CPM è ombreggiata. Il disegno in basso mostra la stessa superficie in un individuo approssimativamente della stessa età con malattia di Alzheimer a uno stadio avanzato. La CPM, anche qui ombreggiata, è gravemente atrofica.

Perché questa regione è un bersaglio della malattia di Alzheimer? La ragione potrebbe benissimo essere la stessa invocata da me e dai miei colleghi, molti anni or sono, per spiegare, sempre nell'Alzheimer, il coinvolgimento patologico diffuso delle regioni temporomediali.[15] In condizioni di salute normali la corteccia entorinale e l'ippocampo non cessano mai di funzionare: lavorano giorno e notte per contribuire all'elaborazione di ricordi fattuali iniziando e consolidando la registrazione dei ricordi. Di conseguenza, la tossicità cellulare locale, associata a importanti fenomeni di usura, avrebbe un contraccolpo sui preziosi neuroni della regione. Lo stesso ragionamento potrebbe benissimo applicarsi alla CPM, visto il suo funzionamento pressoché continuo in una molteplicità di processi legati al sé.[16]

Riassumendo, i pazienti con Alzheimer terminale e un'evidente compromissione della coscienza presentano un danno neuronale sproporzionato, e quindi una disfunzione, a livello di due territori cerebrali la cui integrità è necessaria per uno stato di coscienza normale: la CPM e il tegmento del tronco encefalico. Occorre essere prudenti circa l'interpretazione di questi fatti, giacché nell'Alzheimer vi sono anche altri siti di disfunzione. Allo stesso tempo, però, sarebbe sciocco non considerare queste evidenze.

Che cosa possiamo dire dei pazienti a quest'ultimo stadio della malattia, quando il loro cervello riceve un ulteriore colpo? In passato era stata mia opinione – e lo è tuttora – che, sebbene il nuovo insulto sia uno spettacolo doloroso per chi sta vicino alle vittime, probabilmente per il diretto interessato rappresenta una sorta di benedizione, sia pure sotto mentite spoglie. A questo stadio terminale, e con questo livello di compromissione della coscienza, i pazienti non possono assolutamente essere consapevoli dei danni arrecati dalla malattia. Di loro, ormai, non resta che l'involucro degli esseri umani che erano un tempo: di certo meritano di ricevere tutto il nostro amore e di essere accompagnati con le

nostre cure alla loro triste fine. In una qualche misura, però, adesso sono misericordiosamente liberi dalle leggi del dolore e della sofferenza che ancora si applicano a chi li osserva.

Il coma, lo stato vegetativo e le differenze rispetto alla sindrome «locked-in»

In larga misura, i pazienti in coma non rispondono ai tentativi di comunicazione provenienti dal mondo esterno, sprofondati come sono in un sonno in cui spesso anche il ritmo della respirazione appare anormale. Non compiono gesti né emettono suoni significativi, meno che mai fanno uso di parole. Nessuna delle componenti fondamentali della coscienza elencate nel capitolo 8 è rilevabile. Lo stato di veglia è sicuramente assente; e, sulla base del comportamento che possiamo osservare, è ragionevole presumere che siano assenti pure la mente e il sé.

I pazienti in coma hanno spesso subìto un danno al tronco encefalico, danno che a volte sconfina nell'ipotalamo; molto comunemente, tutto questo è causato da un ictus. Sappiamo che il danno deve essere localizzato nella parte posteriore del tronco encefalico, il tegmento, e più specificamente nella sua porzione superiore, che ospita i nuclei implicati nella regolazione dei processi vitali ma non quelli indispensabili per il mantenimento della funzione cardiorespiratoria. In altre parole, se il danno coinvolge anche la porzione inferiore del tegmento, il risultato non è il coma, ma la morte.

Quando il danno interessa la parte anteriore del tronco encefalico, ancora una volta il risultato non è il coma, ma la sindrome *locked-in*, una condizione orribile in cui il paziente è assolutamente cosciente ma quasi del tutto paralizzato: può comunicare solo con ammiccamenti, a volte di un occhio soltanto, oppure con il movimento verso l'alto di un occhio. Nondimeno, questi pazienti *vedono* perfettamente qualsiasi cosa sia messa loro davanti,

e quindi possono leggere. Possono anche udire benissimo e apprezzare il mondo nei minimi dettagli. La loro prigionia è pressoché completa; solo un certo ottundimento delle reazioni emozionali di fondo trasforma in qualche modo una situazione terrificante in una condizione a malapena tollerabile, per quanto dolorosa.

Conosciamo le esperienze uniche vissute da questi pazienti grazie ai resoconti che alcuni di loro, soggetti intelligenti e dotati di spirito d'osservazione, hanno avuto il coraggio di dettare, aiutati da esperti. In realtà, i loro resoconti non sono dettati, ma comunicati per mezzo dell'ammiccamento: una lettera, un battito di ciglia. Pensavo che la malattia di Lou Gehrig (la sclerosi laterale amiotrofica) fosse la patologia neurologica più crudele; si tratta di una condizione cerebrale degenerativa, in cui i pazienti, anch'essi coscienti, perdono a poco a poco la capacità di muoversi, di parlare, e alla fine anche di deglutire. Dopo aver visto il mio primo paziente con la sindrome *locked-in*, però, mi resi conto che questa condizione era addirittura peggiore. I due libri migliori scritti da pazienti *locked-in* sono documenti brevi e semplici, ma umanamente molto ricchi. Da uno di essi, scritto da Jean-Dominique Bauby, è stato tratto un film di sorprendente accuratezza, *Lo scafandro e la farfalla*, per la regia del pittore Julian Schnabel. Per i non specialisti si tratta di un documentario esauriente sulla sindrome.[17]

Il coma spesso sfuma in una condizione un poco più leggera, denominata stato vegetativo. Anche in questo caso il paziente è incosciente, ma come notato in precedenza lo stato vegetativo differisce dal coma per due motivi. In primo luogo, i pazienti presentano un'alternanza sonno-veglia, e quando si trovano nell'uno o nell'altro stato è presente anche un riscontro a livello elettroencefalografico; nella parte del ciclo corrispondente alla veglia, gli occhi possono essere aperti. In secondo luogo, i pazienti eseguono alcuni movimenti spontanei e possono rispondere con dei movimenti; non rispondono con la parola, però, e i movimenti eseguiti non sono mai spe-

cifici. Lo stato vegetativo può sfociare nel recupero della coscienza oppure rimanere stabile, nel qual caso è denominato «stato vegetativo persistente». Oltre al danno interessante il tegmento del tronco encefalico e l'ipotalamo – che è la tipica patologia del coma –, lo stato vegetativo può scaturire da un danno al talamo e anche da un danno diffuso alla corteccia cerebrale o alla sostanza bianca sottostante.

Perché il coma e lo stato vegetativo hanno a che fare con il ruolo della CPM, visto che le lesioni causative sono localizzate altrove? Questa domanda è stata affrontata nel corso di studi di neuroimmagine funzionale che si proponevano di indagare in che misura le alterazioni funzionali che si verificano nel cervello dei pazienti in queste condizioni siano generalizzati o circoscritti. I soliti sospetti effettivamente non mancano di presentarsi, come rivela un'importante riduzione della funzione di strutture quali il tronco encefalico, il talamo e la CPM; tuttavia, la riduzione del tasso metabolico locale per il glucosio osservabile a livello della CPM è particolarmente pronunciata.[18]

Vi è peraltro un ulteriore risultato importante da riferire. Di solito, i pazienti in stato di coma o muoiono, o migliorano in modo molto modesto, passando a uno stato vegetativo persistente. Alcuni, però, sono più fortunati ed emergono gradualmente dal loro stato di coscienza profondamente compromessa. Nel momento in cui ciò accade, i cambiamenti più significativi a livello di metabolismo cerebrale hanno luogo nella CPM.[19] Ciò indica una buona correlazione fra il livello di attività in quest'area e il livello di coscienza. Poiché la CPM ha un metabolismo tanto elevato, vi è la tentazione di liquidare questa osservazione come il risultato di un complessivo miglioramento dell'attività cerebrale. La CPM migliorerebbe per prima semplicemente a causa del suo elevato metabolismo. Ma questo non spiegherebbe perché, allo stesso tempo, venga recuperata la coscienza.

NOTA CONCLUSIVA
SULLE PATOLOGIE DELLA COSCIENZA

Nello sforzo teso a delinearne la neuroanatomia, le patologie della coscienza hanno fornito importanti indicatori e hanno suggerito, in parte, i meccanismi proposti per la costruzione del sé nucleare e del sé autobiografico. Forse è utile concludere il capitolo stabilendo un legame trasparente fra la patologia umana da un lato e le ipotesi presentate in precedenza dall'altro.

Escludendo le alterazioni della coscienza che affiorano naturalmente durante il sonno, o che sono indotte dagli anestetici somministrati sotto il controllo medico, la maggior parte dei disturbi della coscienza deriva da una qualche profonda disfunzione cerebrale. In alcuni casi, il meccanismo è chimico: questo avviene in seguito al sovradosaggio di vari farmaci, compresa l'insulina somministrata per il trattamento del diabete, come pure nel caso di eccessivi livelli ematici di glucosio nel paziente diabetico non curato. L'effetto di queste sostanze chimiche è al tempo stesso selettivo e generalizzato. Con un intervento tempestivo e adeguato, tuttavia, la condizione è reversibile. D'altro canto, il danno strutturale causato da traumi cranici, da ictus o da certe malattie degenerative produce spesso disturbi della coscienza dai quali un completo recupero è un'evenienza improbabile. In alcune situazioni, poi, il danno cerebrale può anche dar luogo a crisi epilettiche: durante o dopo questi fenomeni, la presenza di stati alterati di coscienza è un sintomo importante.

I casi di coma e di stato vegetativo dovuti a danni del tronco encefalico presentano una compromissione tanto del sé nucleare, quanto del sé autobiografico. Essenzialmente, le principali strutture del proto-sé vengono o distrutte o gravemente danneggiate, così che non possono più essere generati né i sentimenti primordiali, né i «sentimenti di ciò che accade». L'integrità del talamo e della corteccia cerebrale non è sufficiente a compensare

il totale venir meno del sistema del sé nucleare. Tali condizioni testimoniano la precedenza gerarchica del sistema del sé nucleare e la completa dipendenza da quest'ultimo del sistema del sé autobiografico. È importante notare questo fatto, giacché non vale invece l'inverso: il sé autobiografico può essere compromesso in presenza di un sé nucleare altrimenti intatto.

I casi di coma o di stato vegetativo persistente in cui, invece di colpire il tronco encefalico, il danno compromette la corteccia, il talamo o le connessioni di queste strutture con il tronco encefalico possono causare una disfunzione del sé nucleare senza distruggerlo, il che spiega la progressione di alcuni di questi casi verso uno stato di coscienza «minima» e il recupero di alcune attività non coscienti legate alla mente. I casi di mutismo acinetico e di automatismo che si verificano dopo una crisi epilettica causano una compromissione reversibile del sistema del sé nucleare e una conseguente alterazione del sistema del sé autobiografico. In tali circostanze, sono comunque presenti alcuni comportamenti appropriati i quali, sebbene automatici, indicano che i processi mentali non sono del tutto aboliti.

Quando i disturbi del sé autobiografico appaiono in modo indipendente, in presenza di un sistema del sé nucleare altrimenti intatto, la causa va ricercata in qualche aspetto di una disfunzione mnemonica, un'amnesia acquisita. La causa più importante di amnesia è l'Alzheimer, che abbiamo appena visto; fra le altre cause vi sono l'encefalite virale e l'anossia acuta (interruzione dell'ossigenazione cerebrale) che può verificarsi durante un arresto cardiaco. Nei casi di amnesia, vi è una considerevole disgregazione dei ricordi particolari dell'individuo corrispondenti al suo passato e ai suoi progetti per il futuro. Ovviamente, i pazienti con un danno che interessi entrambe le regioni ippocampali-entorinali, la cui capacità di formare nuovi ricordi è compromessa, soffrono di una progressiva riduzione della portata del sé autobiografico, perché i nuovi eventi che si verificano nella loro

vita non vengono correttamente registrati e integrati nella loro biografia. Più grave è la situazione dei pazienti il cui danno cerebrale investa non solo le regioni ippocampali-entorinali, ma anche quelle circostanti le cortecce entorinali, nel settore anteriore del lobo temporale. Questi pazienti sembrano perfettamente coscienti – il funzionamento del loro sé nucleare è intatto –, al punto che sono perfino consapevoli di non riuscire a ricordare. Tuttavia, la loro capacità di evocare la propria biografia, insieme a tutta l'informazione sociale a essa legata, è più o meno diminuita. Il materiale con cui è possibile assemblare un sé autobiografico è impoverito, o perché non può essere estratto dai ricordi del passato, o perché qualsiasi cosa venga estratta non può essere debitamente coordinata e consegnata al sistema del proto-sé (o forse per entrambi i motivi). Il caso estremo è quello del paziente B., il cui ricordo autobiografico – assolutamente schematico – è in larga misura confinato all'infanzia. Egli sa di essere stato sposato e di essere padre di due figli, ma non sa quasi nulla di concreto sui membri della sua famiglia, che non è in grado di riconoscere né in fotografia né di persona. Il suo sé autobiografico è gravemente compromesso. D'altro canto, al confronto, i ricordi autobiografici di un altro famoso paziente amnesico, Clive Wearing, sono stati risparmiati in misura nettamente superiore. Wearing non ha soltanto un sé nucleare normale, ma anche un robusto sé autobiografico. Un brano tratto da una lettera scrittami da sua moglie, Deborah Wearing, spiega perché io la pensi così:

> È in grado di descrivere in modo approssimativo la disposizione della camera di quand'era bambino, sa di aver cantato fin da piccolo nel coro della parrocchia di Erdington, dice di ricordare di essere stato nei rifugi antiaerei durante la guerra e di aver udito il rumore delle bombe su Birmingham. Conosce diversi frammenti di fatti riguardanti la sua infanzia, i suoi genitori e i suoi fratelli, e può raccontare in modo schematico la sua vita adulta: il college a Cambridge, dove era corista; dove ha lavorato; la London Sinfonietta, il Music Department

della BBC, la sua carriera di direttore d'orchestra, di musicologo e di produttore musicale (e in precedenza di cantante). Ma come le dirà lui stesso, sebbene conosca un vago profilo della sua vita, Clive ha «perso tutti i dettagli».

Negli ultimi tempi, Clive è riuscito a intrattenere conversazioni autentiche e significative meglio di quanto non facesse nei primi dieci anni, quando era pieno di paura e di rabbia. Ha una certa consapevolezza del trascorrere del tempo, giacché parla dei suoi genitori e di suo zio usando il passato (suo zio è morto nel 2003, e dopo che glielo dissi – cosa che lo turbò, poiché erano molto affezionati – non ricordo che abbia mai più parlato di zio Geoff usando il presente). Inoltre, se gli si chiede quanto tempo è passato dalla sua malattia, si arrischierà a dire almeno 20 anni (in realtà sono 25); ne ha sempre avuta un'idea approssimativa. Anche in questo caso, non ha alcuna sensazione di saperlo, ma se gli si chiede di fare un'ipotesi, di solito l'azzecca.

Un altro esempio di patologia che può essere attribuita a una compromissione selettiva del sé autobiografico è una condizione nota come *anosognosia*. In seguito a un danno in una regione dell'emisfero cerebrale *destro* che comprenda le cortecce somatosensoriali e le cortecce motorie, di solito causato da un ictus, i pazienti presentano, sul lato sinistro, un'evidente paralisi degli arti, soprattutto del braccio; nondimeno, continuano a «dimenticare» di essere paralizzati. Indipendentemente da quante volte sia stato detto loro che non possono muovere il braccio sinistro, quando li si interroga, continuano ad affermare, in tutta sincerità, che esso si muove eccome. Non riescono a integrare l'informazione corrispondente alla paralisi in quel particolare processo in corso di svolgimento che è la storia della loro vita. Relativamente a questi fatti, la loro biografia non è aggiornata, sebbene essi sappiano, per esempio, che hanno avuto un ictus e che sono ricoverati in ospedale. Questo letterale oblio nei confronti di realtà tanto palesi è responsabile dell'apparente indifferenza che essi mostrano per le proprie condizioni di salute e della loro mancanza di

motivazione a partecipare alle sedute di riabilitazione di cui avrebbero tanto bisogno.

Devo aggiungere che quando i pazienti subiscono un danno equivalente all'emisfero cerebrale *sinistro*, non vi è *mai* anosognosia. In altre parole, il meccanismo grazie al quale aggiorniamo la nostra biografia circa gli aspetti riguardanti il nostro sistema muscoloscheletrico *richiede* l'insieme delle cortecce somatosensoriali localizzate dell'*emisfero cerebrale destro.*

Fenomeni epilettici che si originino in questo stesso sistema possono causare una condizione bizzarra e fortunatamente temporanea: l'*asomatognosia.* I pazienti conservano il senso del sé e alcuni aspetti della percezione viscerale, ma all'improvviso, e per un breve periodo, non sono in grado di percepire gli aspetti muscoloscheletrici del proprio corpo.

Un ultimo commento sulle patologie della coscienza. Di recente è stato ipotizzato che la corteccia dell'insula sia la base della consapevolezza cosciente degli stati del sentire, e per estensione, della coscienza.[20] Ne conseguirebbe che un danno bilaterale a queste cortecce causerebbe un disturbo devastante della coscienza. Da osservazioni dirette, sappiamo che questo non è vero e che i pazienti con un danno insulare bilaterale hanno un sé nucleare normale e una mente cosciente perfettamente attiva.

10
OGNI PEZZO AL SUO POSTO

PER TIRARE LE FILA

È tempo di mettere insieme i fatti e le ipotesi apparentemente disparati, riguardanti cervello e coscienza, introdotti nei tre capitoli precedenti. Propongo di cominciare affrontando alcuni interrogativi che probabilmente saranno affiorati nella mente dei lettori.

1. Assodato che la coscienza non risiede in un centro cerebrale, può essere che gli stati mentali coscienti abbiano sede in alcuni settori del cervello più che in altri? La mia risposta è decisamente un sì. Io credo che i contenuti della coscienza a cui noi possiamo accedere siano assemblati soprattutto nello spazio delle immagini delle regioni corticali di ordine inferiore e nel tronco encefalico superiore: quello che nel cervello è un complesso «spazio della performance». Ciò che accade in quello spazio, però, è continuamente controllato dall'interazione con lo spazio delle disposizioni, il quale spontaneamente organizza immagini in funzione della percezione in corso e dei ricordi del passato. In ogni dato istante, il cervello cosciente opera globalmente, ma in maniera *differenziata dal punto di vista anatomico.*

2. Ogni accenno alla coscienza umana fa pensare alla nostra corteccia cerebrale altamente sviluppata, eppure ho scritto molte pagine mettendola in relazione al ben più modesto tronco encefalico. Sono dunque pronto a ignorare l'opinione diffusa e a designare il tronco encefalico come il partner dominante nel processo della coscienza? Non proprio. La coscienza umana necessita sia della corteccia cerebrale, sia del tronco encefalico: la corteccia non può fare tutto da sola.
3. La nostra comprensione del funzionamento dei circuiti neuronali è sempre più chiara. Gli stati mentali sono stati messi in relazione con la frequenza di scarica dei neuroni e la sincronizzazione dei circuiti neuronali mediante l'attività oscillatoria. Siamo anche in possesso delle seguenti informazioni: rispetto a quello di altre specie, il cervello umano ha un maggior numero di aree cerebrali, le quali sono più specializzate, soprattutto a livello corticale; la corteccia cerebrale umana (insieme a quella delle scimmie antropomorfe, dei cetacei e degli elefanti) contiene alcuni neuroni insolitamente grandi, denominati «neuroni di Von Economo»; infine, nei primati, le ramificazioni dendritiche di alcuni neuroni della corteccia prefrontale sono particolarmente abbondanti quando le si confronta con quelle presenti in altre regioni corticali, o con quelle di altre specie. Questi aspetti, scoperti di recente, sono sufficienti a spiegare la coscienza umana? La risposta è no. Essi contribuiscono a render conto della ricchezza della mente umana, del vasto panorama a cui possiamo accedere quando la mente, grazie ai vari processi del sé, la mente diventa cosciente. Sebbene alcuni di tali aspetti abbiano una parte importante nei meccanismi del sé, presi da soli non spiegano in che modo vengano generati il sé e la soggettività.
4. Nelle descrizioni della coscienza i sentimenti sono spesso ignorati. Può esistere una coscienza senza sentimenti? No. Da un punto di vista introspettivo, l'espe-

rienza umana comporta sempre i sentimenti. Naturalmente, il valore dell'introspezione può essere messo in discussione, ma su questo tema specifico quello che dobbiamo spiegare è perché gli stati della coscienza ci appaiano nel modo in cui ci appaiono, quand'anche l'apparenza fosse fuorviante.

5. Ho ipotizzato che gli stati dei sentimenti siano generati in larga misura dai sistemi neurali del tronco encefalico come conseguenza della loro particolare organizzazione e della loro posizione *vis-à-vis* con il corpo. Uno scettico potrebbe benissimo concludere che io non ho risposto a chi chiede perché i sentimenti siano sentiti come noi li sentiamo, e meno che mai perché siano sentiti *tout court*. Qui sono d'accordo e al tempo stesso dissento. Di certo non ho spiegato in modo esaustivo la creazione dei sentimenti, ma ho avanzato un'ipotesi specifica, alcuni aspetti della quale potranno essere sottoposti a verifica.

Non si può dire che le idee discusse in questo libro o quelle presentate da diversi colleghi che lavorano in questo campo risolvano i misteri riguardanti il cervello e la coscienza. Gli studi attualmente in corso, però, comprendono diverse ipotesi che possono essere oggetto di ricerca. Solo il tempo dirà se esse riusciranno a mantenere le loro promesse.

LA NEUROLOGIA DELLA COSCIENZA

Per me la neurologia della coscienza è basata sulle strutture cerebrali implicate nella genesi della triade fondamentale costituita dallo stato di veglia, dalla mente e dal sé. Vi sono coinvolte soprattutto tre principali divisioni anatomiche: il tronco encefalico, il talamo e la corteccia cerebrale; occorre tuttavia avvertire che non vi è una corrispondenza diretta fra ciascuna divisione anato-

mica e ciascun componente della triade. Tutte e tre le divisioni anatomiche contribuiscono a qualche aspetto dello stato di veglia, della mente e del sé.

Il tronco encefalico

I nuclei del tronco encefalico forniscono un buon esempio delle prestazioni *multitasking* richieste a ciascuna divisione. Di certo essi contribuiscono allo stato di veglia in associazione con l'ipotalamo, ma sono anche responsabili della costruzione del proto-sé e della genesi dei sentimenti primordiali. Di conseguenza, alcuni aspetti significativi del sé nucleare sono realizzati nel tronco encefalico, e una volta instauratasi la mente cosciente esso contribuisce al controllo dell'attenzione. In tutti questi compiti, il tronco encefalico coopera con il talamo e con la corteccia cerebrale.

Per avere un quadro migliore del contributo offerto dal tronco encefalico alla mente cosciente, dobbiamo esaminare più da vicino le componenti implicate in queste operazioni. Un'analisi della neuroanatomia del tronco encefalico rivela la distribuzione dei suoi nuclei in diversi settori. Quello localizzato alla base dell'asse verticale del tronco, in larga misura nel midollo allungato, contiene i nuclei implicati nella regolazione delle funzioni viscerali fondamentali, in particolare la funzione respiratoria e cardiaca. Una distruzione sostanziale di questi nuclei porta alla morte. Al di sopra di quel livello, nel ponte e nel mesencefalo, troviamo nuclei la cui lesione non è associata alla morte, ma al coma e allo stato vegetativo. In linea di massima, questo è il settore che si estende verticalmente da metà del ponte fino all'estremo superiore del mesencefalo; occupa la parte posteriore del tronco cerebrale, dietro a una linea verticale che separa la sua metà posteriore dalla metà anteriore. Altre due strutture sono anch'esse parte del tronco encefalico: il tetto e l'ipotalamo. Il tetto è l'insieme costituito dai collicoli superiori e inferiori, che abbiamo discusso nel ca-

pitolo 3; dal punto di vista architettonico, esso fornisce una specie di volta alla parte superiore e posteriore del tronco encefalico. Oltre al loro ruolo nel movimento associato alla percezione, i collicoli hanno una funzione nel coordinamento e nell'integrazione delle immagini. L'ipotalamo è in realtà situato appena sopra il tronco encefalico, tuttavia il suo profondo coinvolgimento nella regolazione dei processi vitali e le sue intricate interazioni con i nuclei del tronco ne giustificano l'inclusione nel novero delle strutture facenti capo a quest'ultimo. Abbiamo già affrontato il ruolo dell'ipotalamo quando abbiamo parlato dello stato di veglia nel capitolo 8 (il lettore può fare riferimento alla figura 8.1 a p. 256).

L'idea che certi settori del tronco possano essere di importanza cruciale per la coscienza, ma altri no, scaturì da una tipica osservazione compiuta da due insigni neurologi, Fred Plum e Jerome Posner. Essi credevano che solo un danno localizzato al di sopra della porzione media del ponte fosse associato al coma e allo stato vegetativo.[1] Io convertii questa idea in una ipotesi specifica, motivando la scelta di quel livello: quando consideriamo il tronco encefalico dalla prospettiva delle regioni cerebrali localizzate superiormente nel sistema nervoso, scopriamo che solo al di sopra della porzione media del ponte la raccolta di *informazioni sul corpo in toto* diventa completa. A livelli inferiori del tronco encefalico o nel midollo spinale, il sistema nervoso può avvalersi soltanto di informazioni *parziali.* Questo perché è a livello della porzione media del ponte che il nervo trigemino penetra nel tronco encefalico, portando con sé informazioni sulla parte superiore del corpo: la faccia e tutto quello che si nasconde dietro di essa, lo scalpo, il cranio e le meningi. Solo al di sopra di questo livello il cervello possiede tutte le informazioni di cui ha bisogno per creare mappe complete del corpo *in toto* e, in quelle mappe, generare la rappresentazione degli aspetti riguardanti l'interno del corpo, che sono relativamente invarianti e contribuiscono a definire il proto-sé. Al di sotto di quel

livello, il cervello non ha ancora raccolto tutti i segnali di cui necessita per creare una rappresentazione del corpo nella sua interezza, istante per istante.

Questa ipotesi venne verificata in uno studio che Josef Parvizi e io conducemmo con la risonanza magnetica in pazienti comatosi, allo scopo di indagare la localizzazione del danno cerebrale. Esso rivelò che il coma era associato soltanto a un danno localizzato al di sopra del livello di ingresso del trigemino. Lo studio confermò interamente le prime osservazioni di Plum e Posner, che erano basate su materiali post mortem in un'epoca in cui le tecniche di neuroimmagine non erano disponibili.[2]

Agli esordi della ricerca sulla coscienza, l'associazione fra un danno in questa regione e lo stato comatoso/vegetativo venne interpretata come un indice del fatto che la disfunzione risultante comprometteva lo stato di veglia o la vigilanza. La corteccia cerebrale non era più attivata e rifornita di energia. Privata della componente costituita dallo stato di veglia, la mente non era più cosciente. L'identificazione di una rete di neuroni interattivi a livello locale e che nel loro complesso proiettavano verso l'alto al talamo e alla corteccia cerebrale rese questa semplice idea ancora più plausibile. Anche il nome dato a tale sistema di proiezioni – sistema reticolare attivatore ascendente – coglieva bene il concetto.[3] (Anche in questo caso, si veda la figura 8.1, nella quale esso è incluso fra gli «altri nuclei del tronco encefalico», come spiegato nella didascalia).

L'esistenza di un tale sistema ha trovato piena conferma e noi sappiamo che le sue proiezioni puntano ai nuclei intralaminari del talamo, i quali a loro volta proiettano alle cortecce cerebrali, compresa la CPM. Non è tutto, però. Accanto a classici nuclei come il cuneiforme e il *pontis oralis*, che sono i siti di origine del sistema reticolare attivatore ascendente, vi è un insieme di numerosi altri nuclei che comprendono quelli implicati nella gestione degli stati corporei interni: il *locus coeruleus*, i nuclei del tegmento ventrale e i nuclei del rafe, rispettiva-

mente responsabili della liberazione di noradrenalina, dopamina e serotonina in particolari settori della corteccia cerebrale e del prosencefalo basale. Le proiezioni che partono da questi nuclei aggirano il talamo.

Fra i nuclei coinvolti nella gestione dello stato del corpo, troviamo il nucleo del tratto solitario (NTS) e il nucleo parabrachiale (NPB), la cui importanza è stata discussa nei capitoli 3, 4 e 5 relativamente alla creazione di sentimenti corporei del primo livello, i sentimenti primordiali. Il tronco encefalico superiore comprende anche i nuclei del grigio periacqueduttale (GPA), la cui attività dà luogo alle risposte chimiche e comportamentali che sono parte integrante della regolazione dei processi vitali e che, in quel contesto, eseguono le emozioni. I nuclei del GPA sono strettamente interconnessi con quelli dell'NPB e dell'NTS e anche con gli strati profondi del collicolo superiore, i quali hanno probabilmente una funzione di coordinamento nella costruzione del sé nucleare. Questa complicata anatomia indica che mentre i nuclei classici e i sistemi di attivazione ascendente sono senza dubbio associati allo stato di veglia e ai cicli del sonno, i restanti nuclei del tronco encefalico partecipano ad altre funzioni ugualmente importanti per la coscienza: precisamente, essi costituiscono la sede degli standard del valore biologico; producono la rappresentazione dell'interno dell'organismo, in base alla quale viene assemblato il proto-sé e sono generati gli stati dei sentimenti primordiali; e contribuiscono ai primi stadi cruciali della costruzione del sé nucleare, che si ripercuote sul controllo dell'attenzione.[4]

In breve, una riflessione su questa gran profusione di ruoli funzionali rivela una dedizione condivisa di questi nuclei alla gestione dei processi vitali. L'idea che la loro funzione sia confinata alla regolazione dei visceri, del metabolismo e dello stato di veglia non rende giustizia alle loro prestazioni. Essi gestiscono i processi vitali in un senso molto più ampio. Rappresentano la sede neurale del valore biologico, il quale ha un'influenza estesa a tut-

to il cervello, in termini di struttura come di funzioni. Con ogni probabilità, questo è il luogo in cui ha inizio il processo di costruzione della mente sotto forma di sentimenti primordiali, ed è evidente che ha origine qui anche il sé, ovvero il processo grazie al quale la mente cosciente diventa una realtà. Anche gli sforzi di coordinamento messi in atto dagli strati profondi dei collicoli entrano in gioco a questo livello, e fanno la loro parte.

Il talamo

La coscienza viene spesso descritta come il risultato di una vasta operazione di integrazione di segnali che interessa molte regioni del cervello; in quelle descrizioni, il ruolo del talamo è quanto mai prominente. Senza dubbio esso contribuisce in modo importante alla creazione del tessuto di fondo della mente e a quella sorta di «mossa finale» che chiamiamo mente cosciente. Ma è possibile essere più specifici sul suo ruolo?

Come il tronco encefalico, anche il talamo dà un contributo a tutte le componenti della triade della mente cosciente. Un insieme di nuclei talamici è essenziale per lo stato di veglia e stabilisce un ponte fra tronco encefalico e corteccia; un altro porta gli input con i quali possono poi essere assemblate le mappe corticali; i nuclei restanti contribuiscono con quel tipo di attività integrativa senza la quale una mente cosciente – e a maggior ragione una mente dotata di un sé – è inconcepibile.

In passato ho sempre resistito ad avventurarmi nel talamo, e oggi sono ancora più prudente. Le scarne conoscenze di cui dispongo sull'enorme insieme dei nuclei talamici, le devo ai pochissimi scienziati esperti di questa struttura.[5] Detto questo, alcuni ruoli del talamo non sono in discussione e possono essere analizzati qui. Il talamo serve come stazione di transito per le informazioni raccolte nel corpo e destinate alla corteccia cerebrale. Questa funzione comprende tutti i canali che convogliano segnali riguardanti sia il corpo sia il mondo esterno:

dal dolore e dalla temperatura al tatto, all'udito e alla vista. Tutti i segnali destinati alla corteccia si fermano nei nuclei di relè talamici per prendere la coincidenza che li porta alla loro destinazione nelle varie città della corteccia cerebrale. Solo l'olfatto sfugge a questa attrazione e si diffonde alla corteccia come un effluvio, seguendo canali non talamici.

Il talamo si occupa anche dei segnali necessari per svegliare o addormentare l'intera corteccia cerebrale: lo fa mediante proiezioni neuronali che partono dalla formazione reticolare di cui ho già parlato. I loro segnali cambiano binario a livello dei nuclei intraliminari; la CPM è un'importante destinazione.

Una funzione del talamo non meno importante – e di gran lunga più specifica quando si tratta della coscienza – è quella di centro coordinatore delle attività corticali, una funzione dipendente dal fatto che diversi nuclei talamici in comunicazione con la corteccia cerebrale ricevono a loro volta messaggi da quest'ultima, così che possano formarsi circuiti ricorsivi istante per istante. Questi nuclei talamici stabiliscono reciproche connessioni a breve e a lungo raggio con diverse parti della corteccia cerebrale. Lo scopo di tale connettività non è di portare informazioni sensoriali primarie, quanto piuttosto quello di *interconnettere* le informazioni.

In questa stretta interazione fra talamo e corteccia, è probabile che il talamo faciliti l'attivazione simultanea o sequenziale di siti neurali topograficamente separati, facendoli cooperare in configurazioni coerenti. Questa attivazione è responsabile del flusso di immagini che ha luogo nel corso dei pensieri, immagini che diventano coscienti quando riescono a generare pulsazioni del sé nucleare. Probabilmente, questo ruolo di coordinamento dipende dal traffico a doppio senso fra i nuclei associativi del talamo e RCD anch'esse coinvolte nel coordinamento delle attività corticali. Il talamo, in breve, trasmette informazioni essenziali alla corteccia cerebrale e al tempo stesso esegue un'importante funzione associa-

tiva nei confronti delle informazioni corticali. La corteccia cerebrale non può operare senza il talamo, giacché le due strutture sono co-evolute legandosi inseparabilmente fin dal loro primo sviluppo.

La corteccia cerebrale

Passiamo infine a quello che attualmente è il pinnacolo dell'evoluzione neurale, la corteccia cerebrale umana. Nell'interazione con il tronco encefalico e il talamo, la corteccia ci mantiene svegli e contribuisce a selezionare ciò a cui dobbiamo prestare attenzione. Sempre in questa interazione, la corteccia costruisce le mappe che poi diventeranno la mente e contribuisce a generare il sé nucleare. Infine, usando le registrazioni dell'attività passata memorizzate nei suoi vasti archivi, la corteccia cerebrale compone la nostra biografia, completa dell'esperienza degli ambienti fisici e sociali in cui abbiamo vissuto. La corteccia ci fornisce un'identità e ci colloca al centro di quello spettacolo straordinario, proiettato in avanti, che è la nostra mente cosciente.[6]

Allestire lo spettacolo della coscienza richiede una tale cooperazione che non sarebbe realistico isolare uno qualsiasi dei partner che vi contribuiscono. Certo non possiamo generare gli aspetti autobiografici del sé che definiscono così bene la coscienza umana senza invocare il rigoglioso sviluppo delle regioni di convergenza-divergenza che dominano la neuroanatomia e la neurofisiologia corticali. Né l'autobiografia potrebbe sorgere senza i fondamentali contributi del tronco encefalico alla formazione del proto-sé, o senza la necessaria associazione del tronco encefalico con il corpo in senso stretto o, ancora, senza l'integrazione ricorsiva che è messa in opera dal talamo e che coinvolge tutto il cervello.

Sebbene occorra riconoscere il lavoro d'insieme di questi attori principali, è tuttavia consigliabile resistere

a idee che vorrebbero sostituire alla specificità delle parti contribuenti l'enfasi su operazioni neurali funzionalmente indistinte a livello cerebrale globale. In termini di fondamento cerebrale, la natura globale della mente cosciente è innegabile. Noi però, grazie alle ricerche che si ispirano alla neuroanatomia, abbiamo la possibilità di scoprire di più sui contributi relativi delle varie componenti cerebrali al processo generale.

LA STRETTOIA ANATOMICA ALLA BASE DELLA MENTE COSCIENTE

Le tre principali divisioni anatomiche appena descritte e le loro connessioni spaziali parlano di sproporzioni morfologiche e alleanze funzionali che solo una prospettiva evolutiva può aiutarci a spiegare. Non occorre essere un neuroanatomista per cogliere il curioso squilibrio dimensionale esistente, nell'uomo, fra corteccia cerebrale e tronco encefalico.

Essenzialmente, operando le dovute correzioni per tener conto delle dimensioni corporee, l'organizzazione fondamentale del tronco encefalico umano risale all'èra dei rettili. La corteccia cerebrale umana, invece, ha una storia diversa. Nei mammiferi essa si è espansa enormemente, non solo da un punto di vista dimensionale, ma anche nell'organizzazione architettonica, soprattutto nella versione dei primati.

A causa della sua dominanza nel ruolo di regolatore dei processi vitali, il tronco encefalico è da lungo tempo il sito che riceve ed elabora localmente l'informazione necessaria per rappresentare il corpo e controllarne la vita. Nel momento in cui eseguiva questo suo ruolo antico e importante, in specie in cui la corteccia cerebrale era minima o assente, il tronco encefalico sviluppò anche l'apparato necessario per i processi elementari della mente e perfino per la coscienza, attraverso il proto-sé e

i meccanismi del sé nucleare. Esso continua a eseguire queste stesse funzioni anche oggi, negli esseri umani; d'altro canto, la maggiore complessità della corteccia cerebrale ha consentito la creazione di immagini dettagliate, l'espansione della capacità di memoria, l'immaginazione, il ragionamento, e alla fine il linguaggio. E adesso arriva il grande problema: nonostante l'espansione anatomica e funzionale della corteccia cerebrale, le funzioni del tronco encefalico *non* vennero duplicate nelle strutture corticali. La conseguenza di questa economica divisione dei ruoli è una interdipendenza, fatale e completa, del tronco encefalico e della corteccia: le due strutture sono *costrette* a cooperare.

L'evoluzione del cervello si trovò ad affrontare una strettoia anatomo-funzionale notevole, ma la selezione naturale, com'era prevedibile, risolse il problema. Poiché il tronco encefalico doveva ancora garantire a tutto il sistema nervoso l'intera gamma dei processi di regolazione della vita *e* i fondamenti della coscienza, occorreva trovare una via per assicurare che il tronco encefalico influenzasse la corteccia cerebrale *e*, cosa altrettanto importante, che le attività della corteccia cerebrale influenzassero il tronco cerebrale: influenza cruciale soprattutto – naturalmente – quando si trattava della costruzione del sé nucleare. Questo è importante, a maggior ragione se pensiamo che moltissimi oggetti esterni esistono come immagini solo nella corteccia cerebrale e non possono essere rappresentati in modo completo come tali nel tronco cerebrale.

È qui che il talamo accorse in aiuto, come facilitatore di un compromesso, realizzando una disseminazione di segnali dal tronco encefalico a un vasto territorio del mantello corticale. A sua volta, la corteccia cerebrale, enormemente espansa, incanala segnali verso una struttura su piccola scala quale è il tronco encefalico sia direttamente, sia con l'aiuto di nuclei sottocorticali come quelli dell'amigdala e dei gangli basali. Alla fine, il talamo trova forse la sua migliore descrizione quale sensale nell'unione di una stranissima coppia.

Lo sbilanciamento fra tronco cerebrale e corteccia ha probabilmente imposto delle limitazioni allo sviluppo delle abilità cognitive in generale, e alla coscienza umana in particolare. Poiché la cognizione si modifica quando è soggetta a pressioni come quelle esercitate dalla rivoluzione digitale, è interessante constatare che tale squilibrio può insegnarci molte cose circa le modalità di evoluzione della mente umana. Nella mia descrizione, il tronco encefalico rimarrà una fonte degli aspetti fondamentali della coscienza, essendo il primo e indispensabile luogo di origine dei sentimenti primordiali. Le accresciute esigenze cognitive hanno reso un po' rozza e brutale l'interazione fra corteccia e tronco encefalico; oppure – per dirlo in termini più delicati – hanno reso più difficile l'accesso alla fonte dei sentimenti. A quanto pare, da qualche parte bisogna cedere.

Ho detto che sarebbe sciocco prendere le difese di una delle tre divisioni anatomiche coinvolte nel processo di costruzione della coscienza, favorendola a scapito delle altre. Eppure, occorre convenire che la componente rappresentata dal tronco encefalico ha una precedenza funzionale, che rimane una parte del puzzle assolutamente indispensabile e che – per quella stessa ragione, come pure per le sue modeste dimensioni e per la sua anatomia compressa e disordinata – fra le tre grandi divisioni è quella più vulnerabile alla patologia. Questo va detto con forza, se non altro perché negli scontri in cui è coinvolta la coscienza la corteccia cerebrale tende a prendere il sopravvento.

DAL LAVORO DI INSIEME DELLE GRANDI DIVISIONI ANATOMICHE AL LAVORO DEI NEURONI

Fino a questo punto, ho cercato di spiegare l'emergere di una mente cosciente in larga misura muovendo dalla prospettiva di componenti che possono essere

identificate a occhio nudo, compresi i piccoli nuclei del tronco encefalico e del talamo. Quelli che a occhio nudo non si vedono, però, sono i milioni di neuroni che costituiscono le reti o i sistemi all'interno di tali strutture, come pure i numerosi piccoli raggruppamenti dei neuroni che contribuiscono all'impresa generale di costruire una mente dotata di un sé. Il lavoro di insieme delle grandi divisioni anatomiche si fonda sul lavoro di insieme di componenti su scala sempre minore, fino ad arrivare a piccoli circuiti neuronali. In questa tendenza anatomica verso il basso, troviamo regioni corticali sempre più circoscritte, e tutte le loro connessioni con altri siti cerebrali; vi sono nuclei sempre più piccoli connessi in modo particolare ad altri nuclei e a varie regioni della corteccia; infine, al fondo della gerarchia, troviamo i piccoli circuiti neuronali, le unità costruttive microscopiche, le cui temporanee configurazioni spaziali di attività creano la mente. La mente cosciente è costruita a partire dalla struttura del cervello: una struttura costituita da molte componenti, gerarchiche e annidate.

In genere si dà per scontato che la scarica dei neuroni connessi mediante sinapsi all'interno di circuiti microscopici dia origine ai fenomeni fondamentali per la costruzione della mente, denominati «protofenomeni» della cognizione. Si pensa anche che il progressivo accumularsi di un gran numero di tali fenomeni dia luogo alla costruzione delle mappe che conosciamo come immagini, e che una parte di quel processo di accumulo graduale dipenda dalla sincronizzazione dei singoli protofenomeni, come ipotizzato nel capitolo 3.

Possiamo chiederci se sia sufficiente combinare i microeventi della protocognizione con la sincronia, amplificandoli progressivamente in una gerarchia annidata, distribuita all'interno delle tre divisioni neuroanatomiche discusse in precedenza. Nella spiegazione qui sopra, la protocognizione muove dai microeventi neurali e viene gradualmente amplificata fino a giungere alla mente cosciente, ma i sentimenti sono omessi. Vi è un

«protosentimento» equivalente, costruito a partire da microeventi neurali e che va amplificandosi a poco a poco, parallelamente alla protocognizione?

In tutte le proposte avanzate nei precedenti capitoli, il sentimento è stato presentato come partner obbligato e membro fondatore della mente cosciente, ma non si è detto nulla sulle sue possibili origini a livello microscopico. Come ho già proposto, noi otteniamo sentimenti spontanei a partire dal proto-sé, e quei sentimenti danno origine, in modo ibrido, a un primo barlume di mente e di soggettività. Abbiamo poi invocato i sentimenti del conoscere per separare il sé dal non-sé e per contribuire a generare un sé nucleare vero e proprio. Alla fine, abbiamo costruito un sé autobiografico a partire da queste molteplici componenti del sentire. I sentimenti sono stati presentati come l'altra faccia della medaglia della cognizione, ma il loro emergere è stato collocato al livello dei sistemi. Io ho invocato, quali fonti di sentimenti corporei qualitativamente distinti, la stretta relazione, esclusiva e risonante, del tronco encefalico con il corpo, insieme alla combinazione ricorsiva ed esaustiva, nel tronco encefalico superiore, dei segnali provenienti dal corpo. Questo potrebbe benissimo bastare a spiegare come sorgano i sentimenti. Tuttavia, è ragionevole interrogarsi su un ulteriore aspetto. Se collochiamo, in generale, l'origine delle immagini al microlivello, postulando che i piccoli circuiti neuronali generino frammenti di protocognizione, perché non dovremmo concedere lo stesso trattamento a quella classe speciale di immagini che chiamiamo sentimenti, facendo iniziare anch'essi all'interno di quei medesimi piccoli circuiti, o in loro prossimità? Nella prossima sezione, proporrò che i sentimenti possano avere questa modesta origine. I protosentimenti si svilupperebbero allora gradualmente nelle gerarchie annidate, all'interno di circuiti più grandi – in questo caso i circuiti del tegmento del tronco encefalico superiore –, dove un'ulteriore elaborazione darebbe luogo ai sentimenti primordiali.

Chiunque nutra un interesse per i temi legati al cervello, alla mente e alla coscienza ha sentito parlare dei qualia e si è fatto un'opinione su come le neuroscienze debbano approcciare la questione: prenderla sul serio e cercare di affrontarla; considerarla materia intrattabile e rimandarla a tempo indeterminato; o liquidarla senza troppi complimenti. Come il lettore può constatare, io prendo l'argomento sul serio. Prima però, visto che il concetto dei qualia è un poco insidioso, cerchiamo di capire di che cosa si tratta.[7]

Nelle prossime pagine, i qualia sono trattati come una combinazione di due problemi. Nel primo, i qualia si riferiscono ai sentimenti, che sono una componente obbligata di qualsiasi esperienza soggettiva – una sfumatura piacevole o la sua assenza, un accenno di dolore, di disagio o di benessere, oppure la loro mancanza. Io definisco questo tema il «problema dei qualia I». Il secondo problema è più profondo. Se le esperienze soggettive sono accompagnate da sentimenti, come vengono generati gli stati del sentire? Questo interrogativo si spinge oltre la questione di come nella nostra mente una esperienza qualsiasi acquisisca qualità sensoriali specifiche, per esempio il suono di un violoncello, il gusto del vino, l'azzurro del mare. Ci si pone quindi una domanda più diretta: perché la costruzione delle mappe percettive, che sono eventi fisici e neurochimici, ha una qualità percepita? Perché le sentiamo? Questo è il «problema dei qualia II».

QUALIA I

Nessun insieme di immagini coscienti di alcun tipo e su alcun argomento manca mai di essere accompagnato da un corteo disciplinato costituito dalle emozioni e dai sentimenti che a esse conseguono. Mentre sto guardan-

do l'Oceano Pacifico avvolto nella sua luce mattutina, protetto da un tenue cielo grigio, io non sto solo *vedendo*, sto anche *provando emozioni* di fronte a questa imponente bellezza e avverto tutta una gamma di modificazioni fisiologiche che si traducono, ora che ci penso, in un tranquillo stato di benessere. Questo sta accadendo senza che vi sia alcuna deliberazione da parte mia, e io non ho alcun potere di impedire i sentimenti, non più di quanto, in precedenza, fosse in mio potere farli affiorare. Si sono presentati, ora sono qui, e ci resteranno – più o meno modulati – fintanto che lo stesso oggetto cosciente rimarrà in vista e le mie riflessioni li manterranno in essere, in una sorta di riverbero.

Mi piace pensare ai qualia I come a una musica, una partitura che accompagna il *remainder* del processo mentale in corso, notando tuttavia che l'esecuzione è anche *all'interno* del processo mentale. Quando il principale oggetto della mia coscienza non è l'oceano, ma musica vera, allora nella mia mente esistono due tracce, una con il brano di Bach che sta suonando proprio ora, e l'altra con una traccia *come-se-fosse-musica* con la quale io reagisco, nel linguaggio dell'emozione e del sentimento, alla musica vera. Questo non è altro che il *quale I* per una esecuzione musicale – possiamo chiamarla «musica sulla musica». Forse la musica polifonica fu ispirata dall'intuizione di questo sovrapporsi nella mente di linee melodiche parallele.

In una piccola casistica di situazioni reali, l'accompagnamento *obbligato* dei qualia I può essere ridotto o addirittura non materializzarsi. Gli scenari più benigni sono quelli derivanti dall'effetto di qualsiasi farmaco in grado di bloccare la reattività emozionale: basti pensare a un tranquillante come il Valium, a un antidepressivo come il Prozac, o anche a un β-bloccante come il propanololo, i quali – purché somministrati in dosaggio appropriato – possono tutti ottundere tanto la capacità di rispondere emozionalmente come, di conseguenza, quella di esperire i sentimenti delle emozioni.

Questi ultimi non si materializzano anche in una comune situazione patologica, la depressione, nella quale gli aspetti del sentire positivo sono notoriamente assenti e anche i sentimenti negativi, come la tristezza, possono essere a tal punto attenuati da dar luogo, a tutti gli effetti, a uno stato di ottundimento.

Come fa il cervello a produrre il necessario effetto che associamo ai qualia I? Come abbiamo visto nel capitolo 5, in parallelo ai dispositivi della percezione che mappano qualsiasi oggetto si desideri, e in parallelo alle regioni che presentano tali mappe, il cervello è dotato di numerose strutture che *rispondono* ai segnali provenienti da quelle mappe producendo le emozioni dalle quali poi emergono i sentimenti. Esempi di queste regioni, simili a una sorta di «pulsante rosso», comprendono strutture che abbiamo già incontrato: la famosa amigdala; la porzione della corteccia prefrontale quasi altrettanto famosa, nota come settore ventromediale; e una serie di nuclei localizzati nel prosencefalo basale e nel tronco encefalico.

Come abbiamo visto in precedenza, le modalità con cui le emozioni vengono innescate sono affascinanti. Le regioni che creano immagini possono inviare i loro segnali – sia direttamente, sia dopo un'ulteriore elaborazione – a tutte le regioni in grado di innescare le emozioni. Se la configurazione di segnali corrisponde al profilo al quale una data regione è predisposta a rispondere (ovvero, se ha i requisiti di uno stimolo emozionalmente competente), il risultato è l'innesco di una cascata di eventi, attuati dapprima in altre parti del cervello e poi anche nel corpo, che dà luogo a un'emozione. La lettura percettiva dell'emozione è un sentimento.

Il segreto della mia esperienza complessa di questo particolare istante è la capacità del mio cervello di rispondere allo *stesso contenuto* (per esempio, la mia immagine dell'Oceano Pacifico) in *diversi siti* e in *parallelo*. Da un sito cerebrale ottengo il processo emozionale che culmina in una sensazione di benessere; da altri siti rica-

vo diverse idee sul tempo di oggi (il cielo non ha quell'aspetto stratificato tipico dell'inversione termica; ha più un'aria cotonosa, una nuvolosità irregolare) o sul mare (può essere di una maestosità imponente, oppure presentarsi aperto e accogliente a seconda della luce e del vento, per non parlare dell'umore di chi lo guarda), eccetera.

Di solito uno stato di coscienza normale contiene un certo numero di oggetti da conoscere – raramente uno solo – e li tratta in modo più o meno integrato, senza mostrare però quasi mai lo stile democratico che accorderebbe a ogni oggetto un'uguale quota di spazio cosciente e di tempo. Poiché immagini diverse hanno un diverso valore, sono messe in risalto in modo non uniforme. A sua volta, questa mancanza di uniformità genera un «ordine» delle immagini che può essere proficuamente descritto come una forma spontanea di editing e montaggio. Il processo grazie al quale viene riconosciuto un diverso valore a immagini diverse si fonda, in parte, sulle emozioni che esse provocano e sui sentimenti che ne conseguono sullo sfondo della coscienza: la risposta dei qualia I, sottile, ma non liquidabile. Sebbene il problema dei qualia sia tradizionalmente considerato come parte del problema della coscienza, infatti, io credo che appartenga in modo più appropriato al dominio della mente. Le risposte che riconduciamo ai qualia I riguardano oggetti elaborati nella mente e aggiungono a quest'ultima un ulteriore elemento. Non penso che il problema dei qualia I sia un mistero.

QUALIA II

Il problema dei qualia II è concentrato su un interrogativo più sconcertante: perché le mappe percettive, che sono eventi fisici e neurali, sono, in un modo o nell'altro, effettivamente percepite? Per tentare una rispo-

sta su più livelli, cominciamo a concentrarci sullo stato del sentire che io considero come fondamento simultaneo della mente e del sé, e precisamente sui sentimenti primordiali che descrivono lo stato interno dell'organismo. Devo cominciare da qui, considerata la soluzione che ho proposto per il problema dei qualia I: se i sentimenti riguardanti lo stato dell'organismo sono l'accompagnamento obbligatorio di tutte le mappe percettive, allora dobbiamo innanzitutto spiegare l'origine di quegli stessi sentimenti.

La spiegazione deve, in primo luogo, prendere in considerazione alcuni fatti cruciali. Gli stati del sentire emergono grazie alla funzione di alcuni nuclei del tronco encefalico, altamente interconnessi, i quali ricevono segnali integrati, di grande complessità, provenienti dall'interno dell'organismo. Nell'utilizzare tali segnali per regolare i processi vitali, i nuclei – grazie alla loro attività – li sottopongono a una trasformazione. Quest'ultima viene ulteriormente amplificata dal fatto che i segnali sono trasmessi all'interno di un circuito grazie al quale il corpo comunica con il sistema nervoso centrale e questo a sua volta risponde ai messaggi del corpo. I segnali non sono separabili dagli stati dell'organismo in cui hanno origine. L'insieme costituisce un'unità dinamica e coesa. Io ipotizzo che questa unità attui una fusione funzionale degli stati corporei e degli stati percettivi, tale che fra i due non possa più essere tracciata una linea di divisione. I neuroni deputati a trasmettere al cervello i segnali riguardanti lo stato interno del corpo avrebbero un'associazione così intima con le strutture interne del corpo, che i segnali trasmessi non si limiterebbero a *riferirsi* allo stato della carne ma sarebbero, letteralmente, sue estensioni. I neuroni imiterebbero la vita in modo così accurato da diventare tutt'uno con essa. In breve, nella complessa interconnettività di questi nuclei del tronco encefalico, si troverebbe l'inizio di una spiegazione del perché i sentimenti – in questo caso, i sentimenti primordiali – siano in qualche modo *sentiti.*

Tuttavia, come ho ipotizzato nella sezione precedente, forse possiamo tentare di spingerci più a fondo, a livello dei piccoli circuiti neuronali. Il fatto che i neuroni derivino dal differenziamento di altre cellule viventi – funzionalmente distinti da quelle, eppure al tempo stesso organicamente simili a esse – fornisce a quest'idea un punto d'appoggio. I neuroni non sono microchip che ricevono segnali dal corpo. I neuroni sensoriali responsabili dell'enterocezione sono un tipo specializzato di cellule del corpo, che ricevono segnali da altre cellule del corpo. Inoltre, vi sono aspetti della vita cellulare che indicano la presenza di precursori di una funzione del «sentire». Gli organismi unicellulari sono «sensibili» a intrusioni che costituiscono una minaccia. Se si punge un'ameba, quella si ritrarrà. Se si fa lo stesso con un paramecio, lo vedremo allontanarsi dall'ago nuotando nel mezzo acquoso. Possiamo osservare questi comportamenti e trovare comodo descriverli come «atteggiamenti» ben sapendo che le cellule non sanno che cosa stanno facendo nel modo in cui lo sappiamo noi quando sfuggiamo a una minaccia. Ma che possiamo dire dell'altra faccia di questo comportamento, ovvero dello stato interno della cellula? Essa non ha un cervello, meno che mai una mente per «sentire» la puntura di un ago, eppure risponde, perché qualcosa al suo interno è cambiato. Se estrapoliamo questa situazione ai neuroni, è proprio qui che potrebbe risiedere lo stato fisico la cui modulazione e amplificazione, attraverso circuiti cellulari sempre più ampi, potrebbe dar luogo a un *protosentimento*, l'onesta controparte della protocognizione, affiorante allo stesso livello.

I neuroni hanno effettivamente queste capacità di risposta. Prendiamo, ad esempio, la loro intrinseca «sensibilità» o «irritabilità». Rodolfo Llinás si è basato su questo indizio per proporre che i sentimenti affiorino dalle funzioni sensoriali specializzate dei neuroni, ma siano amplificati in modo proporzionale al gran numero di neuroni che fanno parte di un circuito.[8] Questo è

il ragionamento che faccio anch'io, simile all'idea che ho avanzato nel capitolo 2 a proposito della formazione di una «volontà collettiva di vivere», che si manifesta nel processo del sé a partire dagli atteggiamenti di numerose singole cellule unite cooperativamente in un organismo. Una tale idea attinge dal concetto di sommazione dei singoli contributi cellulari: moltissime cellule muscolari uniscono, letteralmente, le proprie forze contraendosi simultaneamente e producendo una singola forza, più intensa e concentrata.

Quest'idea ha delle sfumature interessanti. La specializzazione dei neuroni rispetto alle altre cellule del corpo origina in buona parte dal fatto che essi, insieme alle cellule muscolari, sono eccitabili. L'eccitabilità è una proprietà derivante dal possesso di una membrana cellulare nella quale la permeabilità locale agli ioni può spostarsi da una regione all'altra per tutta la lunghezza dell'assone. N.D. Cook ha ipotizzato in primo luogo che la permeabilizzazione temporanea ma ripetuta della membrana cellulare rappresenti una violazione alla chiusura quasi ermetica che protegge la vita all'interno del neurone, e in secondo luogo che una tale vulnerabilità possa essere un buon candidato per la creazione di un protosentimento istantaneo.[9]

Non sto assolutamente affermando che questo sia il modo in cui sorgono i sentimenti, tuttavia ritengo che tale linea di indagine sia meritevole di approfondimenti. Infine, voglio osservare che queste idee *non* dovrebbero essere confuse con il ben noto sforzo di localizzare l'origine della coscienza a livello dei neuroni, ricorrendo agli effetti quantici.[10]

Su un altro piano, la risposta a chi chiede perché le mappe percettive del corpo debbano essere in qualche modo «sentite» richiede un ragionamento in chiave evolutiva. Affinché esse siano efficaci nel portare un organismo a evitare il dolore e cercare il piacere, non solo

dovrebbero essere sentite, ma devono esserlo *necessariamente*. La costruzione neurale degli stati di dolore e piacere deve essere stata realizzata presto nell'evoluzione e deve aver avuto un ruolo cruciale nel suo svolgersi. Probabilmente essa derivò dalla fusione corpo-cervello di cui ho già sottolineato l'importanza. È notevole il fatto che, prima della comparsa dei sistemi nervosi, organismi senza cervello già avessero stati corporei ben definiti necessariamente corrispondenti a quello che poi noi arrivammo a esperire come dolore o piacere. La comparsa dei sistemi nervosi avrebbe indicato un modo per rappresentare questi stati per mezzo di segnali neurali dettagliati, conservando lo stretto legame fra le componenti neurali e quelle corporee.

Un aspetto legato a questa risposta mette in evidenza lo spartiacque funzionale fra gli stati del piacere e del dolore, i quali sono rispettivamente correlati, nel caso del piacere, a uno svolgimento ottimale e senza intoppi delle operazioni di gestione dei processi vitali, oppure, nel caso del dolore, problematico e costellato di ostacoli. Questi estremi sono associati alla liberazione di particolari sostanze chimiche che hanno un effetto sul corpo in senso stretto (per esempio sul metabolismo o sulla contrazione muscolare) e sul cervello (dove possono modulare l'elaborazione delle mappe percettive sia nel caso in cui siano appena assemblate, sia nel caso in cui siano oggetto di rievocazione). A parte altre ragioni, il piacere e il dolore sarebbero sentiti in modo diverso perché sono la rappresentazione di stati corporei molto diversi, proprio come un certo rosso è diverso da un particolare azzurro in quanto i due colori sono associati a lunghezze d'onda diverse, e la voce di un soprano è diversa da quella di un baritono perché ha frequenze sonore più alte.

Spesso si trascura il fatto che l'informazione proveniente dall'interno del corpo è trasmessa direttamente al cervello da numerose sostanze chimiche che viaggiano nel sangue circolante ed entrano in contatto con le

parti del cervello prive di barriera ematoencefalica: precisamente, l'area postrema nel tronco encefalico e un certo numero di regioni note collettivamente come «organi circumventricolari». Dire che le sostanze potenzialmente attive sono «numerose» non è un'esagerazione, giacché l'elenco fondamentale comprende decine di esempi (sia i soliti sospetti – trasmettitori/modulatori come le immancabili noradrenalina, dopamina, serotonina e acetilcolina –, sia un'ampia gamma di ormoni come gli steroidi e l'insulina, sia gli oppioidi). Quando il sangue entra in contatto con queste aree recettive, le molecole adatte attivano direttamente i neuroni. Ecco perché, per esempio, una sostanza tossica che agisce sull'area postrema può indurre una reazione concreta come il vomito. Ma quali altri effetti sono causati dai segnali che sorgono in queste aree? Un'ipotesi ragionevole è che tali segnali inducano o modulino i sentimenti. Queste regioni inviano proiezioni altamente concentrate al nucleo del tratto solitario; molto diffuse anche quelle dirette ad altri nuclei del tronco cerebrale, dell'ipotalamo e del talamo, come pure alla corteccia cerebrale.

Mettendo da parte la questione dei sentimenti, il resto del problema dei qualia II sembra più abbordabile. Prendiamo, a titolo di esempio, le mappe visive, che sono rappresentazioni schematiche di proprietà visive quali forma, colore, movimento, profondità. La reciproca connessione di tali mappe – per così dire, la fecondazione incrociata dei loro segnali – è la ricetta giusta per produrre una scena visiva multidimensionale ben miscelata. Se si prende questa miscela e le si aggiunge l'informazione proveniente dal portale visivo – nella misura in cui i tessuti intorno agli occhi sono coinvolti nel processo –, insieme a una componente costituita dal sentimento, è ragionevole aspettarsi un'esperienza compiuta di quanto viene visto: un'esperienza associata in modo appropriato ai qualia.

Che cosa possiamo aggiungere a questa complessità affinché le qualità di un percetto risultino effettivamente distintive? Un elemento ha a che fare con i portali sensoriali coinvolti nella raccolta delle informazioni. Come abbiamo visto, le alterazioni a livello dei portali sensoriali sono importanti non solo nella costruzione della prospettiva, ma anche in quella della qualità percettiva. In che modo? Noi conosciamo il suono inconfondibile delle performance di Yo-Yo Ma, e sappiamo anche dove vengono create le mappe del suono nel cervello, tuttavia sentiamo la musica del suo violoncello sia *nelle* nostre orecchie, sia *con* le nostre orecchie. Con ogni probabilità, sentiamo i suoni nelle orecchie perché il cervello mappa costantemente *tanto* l'informazione proveniente dalla sonda sensoriale – dall'intera catena di segnalazione uditiva comprendente la coclea –, *quanto* la gran quantità di segnali concomitanti provenienti dall'apparato che circonda il dispositivo sensoriale. Nel caso dell'udito, tale apparato comprende l'epitelio della cute che riveste l'orecchio e il canale uditivo esterno, insieme alla membrana del timpano e ai tessuti che mantengono le connessioni fra le parti del sistema degli ossicini, deputato a trasmettere le vibrazioni meccaniche alla coclea. A questo dobbiamo aggiungere i movimenti di varia entità della testa e del collo, costantemente eseguiti nel tentativo automatico di regolare la posizione del corpo rispetto alla fonte dei suoni. Questa componente, che aggiunge ai percetti la loro struttura qualitativa, è l'equivalente nel sistema uditivo delle importanti modificazioni che hanno luogo nel globo oculare, come pure nei muscoli e nella cute circostanti, quando vediamo e osserviamo un oggetto.

Le sensazioni olfattive, gustative o tattili affiorano attraverso lo stesso tipo di meccanismo. La nostra mucosa nasale, per esempio, contiene terminazioni nervose olfattive che rispondono in modo diretto alla conformazione delle molecole presenti nelle sostanze odorose – è così che costruiamo le mappe degli odori, ed è così che

conduciamo un'essenza di gelsomino o una goccia di Chanel N. 19 all'incontro con il nostro sé. L'informazione circa il *dove* sentiamo l'odore proviene tuttavia da altre terminazioni nervose presenti nella mucosa nasale: le stesse che si irritano quando mettiamo troppo wasabi nel sushi e siamo costretti a starnutire.

Infine, notiamo che vi sono retroproiezioni dirette dal cervello alla periferia del corpo, compresa la periferia contenente dispositivi sensoriali specializzati. Questo potrebbe benissimo fornire, nel contesto di un processo sensoriale come l'udito, una versione in chiave minore di quello che il circuito tronco encefalico-corpo rappresenta per il sentimento: un legame funzionale che getta un ponte sull'abisso fra il cervello da una parte, e il punto di inizio delle catene sensoriali nella periferia del corpo dall'altra. Questo circuito potrebbe consentire un altro processo di riverbero. Le cascate di input diretti al cervello sarebbero completate dalle cascate degli output diretti alla stessa «carne» in cui originano i segnali, contribuendo così all'integrazione fra mondo interno ed esterno. Noi sappiamo che arrangiamenti di questo genere esistono, e uno dei principali esempi è proprio quello del sistema uditivo. La coclea riceve segnali di *feedback* dal cervello, così che quando il meccanismo è sbilanciato, le cellule uditive possono effettivamente dar luogo a *emissioni* otoacustiche invece di limitarsi a trasmettere i suoni, come si suppone che facciano normalmente. Occorre sapere di più sui circuiti dei dispositivi sensoriali.[11]

Io credo che quanto abbiamo detto spieghi una parte sostanziale del problema, poiché fa confluire nella mente tre tipi di mappe: 1) mappe di una particolare modalità sensoriale generate dal dispositivo sensoriale appropriato (per esempio la vista, l'udito, l'olfatto, eccetera); 2) mappe dell'attività che ha luogo nel portale sensoriale in cui è incluso il dispositivo sensoriale; e 3) mappe che descrivono le reazioni (emozioni e sentimenti) evocate dalle mappe generate nelle condizioni (1) e (2), ov-

vero risposte riconducibili al tipo qualia I. Quei percetti arriverebbero a essere ciò che sono nel momento in cui diversi tipi di segnali sensoriali confluiscono, a livello del tronco encefalico o della corteccia cerebrale, nelle mappe che creano la mente.[12]

I QUALIA E IL SÉ

Come si collocano i qualia (I e II) nel processo del sé? Giacché entrambi i loro aspetti partecipano alla costruzione della mente, i qualia fanno parte dei contenuti indicati come « processo del sé »: la costruzione del sé che illumina la costruzione della mente. In modo un po' paradossale, però, i qualia II sono anche il fondamento del proto-sé e quindi tengono, per così dire, un piede nella mente e un piede nel sé, in una transizione ibrida. L'organizzazione neurale che consente i qualia fornisce al cervello le percezioni *sentite*, ovvero un senso di esperienza pura. Una volta che al processo sia stato aggiunto un protagonista, ecco che l'esperienza viene reclamata dal suo proprietario fresco di conio: il sé.

UN LAVORO INCOMPIUTO

La comprensione del modo in cui il cervello costruisce una mente cosciente rimane un'impresa incompiuta. Anche se abbiamo guadagnato un po' di terreno, il mistero della coscienza è tuttora tale. D'altra parte, è troppo presto per dichiararsi sconfitti.

Di solito, le discussioni sulla neurologia della coscienza e sul problema mente-corpo sono vittime di due palesi sottostime. Una consiste nel non riconoscere come si dovrebbe l'organizzazione e la grande quantità di dettagli del corpo in senso stretto: il fatto che il corpo è pieno

di microscopici recessi; che i micromondi costituiti da forma e funzione possono essere segnalati al cervello e quindi mappati; e che il risultato ottenuto può essere utilizzato per molti scopi diversi. Il primo, e il più probabile, scopo di quei segnali è regolatorio: il cervello deve ricevere informazioni che descrivano lo stato dei sistemi corporei così da poter organizzare, con o senza l'aiuto della coscienza, una risposta appropriata. I sentimenti delle emozioni sono l'ovvio risultato di questa segnalazione, sebbene i sentimenti siano poi arrivati ad avere una grande importanza anche nella nostra vita cosciente e nelle nostre relazioni sociali. Allo stesso modo, è perfettamente possibile, anzi probabile, che altri processi corporei – alcuni già noti, altri ancora da scoprire – rivelino di esercitare un'influenza sulle nostre esperienze coscienti a molti livelli.

La seconda sottostima riguarda il cervello stesso. L'idea di avere una solida comprensione di quello che il cervello è, e di quello che il cervello fa, è pura follia; nondimeno, ogni anno sappiamo qualcosa di più rispetto all'anno precedente, e molto, molto di più rispetto a dieci anni prima. I problemi che oggi sembrano intollerabilmente misteriosi e difficili, probabilmente saranno riconducibili a una spiegazione biologica: la questione non è *se*, ma *quando*.

PARTE QUARTA
MOLTO TEMPO DOPO

11
VIVERE CON LA COSCIENZA

PERCHÉ LA COSCIENZA SI AFFERMÒ

Nella storia della vita, l'ascesa e la caduta di tratti e funzioni dipende da quanto essi contribuiscono al successo degli esseri viventi. Il modo più diretto per spiegare come mai la coscienza si sia affermata nell'evoluzione consiste nel dire che essa ha contribuito significativamente alla sopravvivenza delle specie che ne erano dotate. La coscienza venne, vide e vinse. Poi fiorì rigogliosa e adesso sembra sia qui per restare.

Quale fu, in realtà, il suo contributo? La risposta sta in una grande varietà di vantaggi, più o meno palesi, nella gestione dei processi vitali. Anche ai livelli più semplici, la coscienza aiuta a ottimizzare, negli organismi che la possiedono, le risposte alle condizioni ambientali. Le immagini elaborate nella mente cosciente forniscono dettagli riguardanti l'ambiente, e quei dettagli possono essere usati per aumentare la precisione di una risposta quanto mai necessaria: per esempio, il movimento preciso che neutralizzerà una minaccia o garantirà la cattura di una preda. D'altra parte, la precisione delle immagini non è che una parte del vantaggio conferito da una mente cosciente. Ho il sospetto che in massima parte quel vantaggio derivi dal fatto che in una mente co-

sciente l'elaborazione delle immagini riferite all'ambiente è *orientata* da un particolare insieme di immagini interne: quelle dell'organismo del soggetto, così come esso viene rappresentato nel sé. Il sé mette a fuoco il processo della mente, impregna di motivazione l'avventura costituita dall'incontro con altri oggetti e altri eventi, e infonde nell'esplorazione del mondo esterno al cervello un particolare *interesse* per quello che è al tempo stesso il primo e il principale problema che l'organismo si trova ad affrontare: la regolazione efficace dei processi vitali. Quell'interesse è spontaneamente generato dal processo del sé, il cui fondamento risiede nei sentimenti corporei, primordiali e modificati. Il sé – che sente spontaneamente e intrinsecamente – segnala in modo diretto, come risultato della valenza e dell'intensità dei suoi stati affettivi, il grado di interesse e di necessità presenti in ogni istante.

Quando il processo della coscienza si fece più complesso – e quando furono messe in campo le funzioni della memoria, del ragionamento e del linguaggio, evolute insieme a essa –, vennero introdotti ulteriori vantaggi: associati alla coscienza, essi hanno in larga misura a che fare con la pianificazione e la deliberazione. In questi ambiti, i benefici garantiti dalla coscienza non si contano. Divenne possibile esaminare il futuro e ritardare o inibire le risposte automatiche. Un esempio di questa capacità evolutivamente nuova è la gratificazione ritardata: lo scambio calcolato di qualcosa di buono disponibile nel presente con qualcosa di meglio da riscuotere in seguito – oppure la rinuncia a qualcosa di buono adesso, se l'esame del futuro indica che avrà conseguenze negative. Questa tendenza della mente cosciente ci ha consentito una gestione più raffinata dell'omoeostasi fondamentale, e alla fine ha dato inizio all'omeostasi socioculturale (sulla quale tornerò in seguito in questo capitolo).

In molte specie non umane dotate di un cervello sufficientemente complesso, sono presenti numerosi comportamenti coscienti ed efficacissimi: gli esempi so-

no evidenti intorno a noi, in modo particolarmente spettacolare nei mammiferi. Negli esseri umani, però, grazie all'espansione della memoria, del ragionamento e del linguaggio, la coscienza ha raggiunto il suo attuale massimo sviluppo. Io ipotizzo che il suo picco derivò dal rafforzamento del sé conoscitore, con la sua capacità di svelare le difficoltà e le opportunità insite nella condizione umana. Alcuni forse diranno che in quella rivelazione risiede una tragica perdita – niente di meno che dell'innocenza –, se solo si considera tutto quello che essa ci insegna sui difetti della natura e sul dramma della condizione umana, tutte le tentazioni che mette davanti ai nostri occhi, e tutto il male che smaschera. Sia come sia, non ci è dato di scegliere. Di sicuro la coscienza ha consentito lo sviluppo della conoscenza e il progresso della scienza e della tecnologia: due modi con i quali possiamo tentare di gestire le difficoltà e le opportunità che essa stessa ha messo a nudo.

IL SÉ E LA QUESTIONE DEL CONTROLLO

Qualsiasi discussione sui vantaggi della coscienza deve tener conto delle evidenze sempre più numerose di questo fatto: vi sono molte occasioni in cui l'esecuzione delle nostre azioni è controllata da processi non coscienti. Questo si verifica abbastanza spesso, in ogni genere di contesto, e merita attenzione. È evidente nell'esecuzione di azioni che richiedono addestramento – dal guidare un'automobile al suonare uno strumento musicale – ed è costantemente presente nelle nostre interazioni sociali.

Solide o meno che siano, le prove a sostegno di una partecipazione non cosciente alle nostre azioni possono essere facilmente oggetto di interpretazioni erronee. È facile minimizzare il valore del controllo cosciente diretto dal sé, nel momento in cui numerosi esperimenti – a partire da quelli di Benjamin Libet e includendo quelli

di Dan Wegner e Patrick Haggard – hanno dimostrato che l'impressione soggettiva di quando e perché sia stata iniziata un'azione può dimostrarsi sbagliata.[1] È altrettanto facile usare questi fatti, insieme alle evidenze derivanti dalla psicologia sociale, per sostenere la necessità di rivedere il tradizionale concetto di responsabilità umana. Siamo davvero responsabili delle nostre azioni, se esse sono influenzate da fattori sconosciuti alla nostra ragione cosciente?

La situazione, tuttavia, è di gran lunga meno problematica di quanto potrebbe sembrare da queste reazioni superficiali e ingiustificate verso risultati la cui interpretazione è ancora in discussione. In primo luogo, la realtà di un'elaborazione non cosciente e il fatto che essa possa esercitare un controllo sul comportamento sono fuori di dubbio. Non solo: questo controllo non cosciente è una realtà desiderabile dalla quale – come vedremo – ricaviamo vantaggi tangibili. In secondo luogo, i processi non coscienti sono, in una misura sostanziale e per molti versi, sotto la guida della *coscienza.* In altre parole, vi sono due tipi di controllo delle azioni – cosciente e non cosciente –, ma il secondo può essere in parte plasmato dal primo. L'infanzia e l'adolescenza della specie umana sono di una lunghezza esorbitante, perché l'educazione dei processi non coscienti del nostro cervello e la creazione, all'interno dello spazio cerebrale non cosciente, di una forma di controllo che possa operare più o meno fedelmente secondo le intenzioni e gli obiettivi della coscienza richiedono un tempo molto, molto lungo. Possiamo descrivere questa lenta educazione come un processo di parziale trasferimento del controllo cosciente a un server non cosciente: non come una resa del controllo cosciente a forze che coscienti non sono e che, di certo, possono creare scompiglio nel comportamento umano. Patricia Churchland ha sostenuto in modo convincente questa posizione.[2]

Il valore della coscienza non è sminuito dalla presenza di processi non coscienti: anzi, la sua portata ne risul-

ta amplificata, senza contare che, supponendo di essere in presenza di un cervello funzionante in modo normale, l'entità della responsabilità personale nei confronti di un'azione non risulta necessariamente ridotta dal fatto che alcune azioni sono eseguite da una sana e robusta componente non cosciente.

In fondo, la relazione fra processi coscienti e non è un ulteriore esempio dello strano sodalizio funzionale emergente dalla coevoluzione. La coscienza e il controllo cosciente diretto delle azioni emersero solo dopo che le menti non dotate di coscienza si erano affermate e gestivano la situazione ottenendo assai spesso, anche se non sempre, buoni risultati – né poteva essere altrimenti. Le prestazioni potevano essere migliorate. La coscienza maturò dapprima riducendo parte dei controlli non coscienti e poi esaminandoli spietatamente per eseguire azioni già programmate e decise. I processi non coscienti divennero un modo comodo e appropriato per eseguire il comportamento, offrendo così alla coscienza più tempo per ulteriori analisi e pianificazioni.

Quando torniamo a casa a piedi, senza pensare al tragitto ma alla soluzione di un problema, e arriviamo comunque a destinazione sani e salvi, abbiamo accettato i vantaggi assicurati da una capacità non cosciente, acquisita seguendo una curva di apprendimento, grazie a molti esercizi svolti in precedenza sotto il controllo della coscienza. Adesso tutto quello che essa deve monitorare, mentre camminiamo verso casa, è l'obiettivo generale del nostro movimento. Tutti gli altri processi coscienti restano disponibili, e possiamo farne un uso creativo.

In gran parte, lo stesso vale per le performance di musicisti e atleti. In questi casi, l'elaborazione cosciente è concentrata sul raggiungimento di particolari obiettivi: sull'arrivare a certe mete in certi momenti, evitando alcuni rischi insiti nell'esecuzione, e rilevando circostanze impreviste. Tutto il resto è esercizio, esercizio ed esercizio – la seconda natura che può guidarci sul palco della Carnegie Hall.

Infine, l'interazione cooperativa fra processi consci e inconsci si applica anche, e in pieno, ai comportamenti morali. Essi costituiscono un insieme di capacità che richiedono addestramento e sono acquisite nel corso di molte sedute e in un lungo lasso di tempo; traggono forma da princìpi e ragioni articolati nella modalità cosciente, ma che hanno pure una «seconda natura» nell'inconscio cognitivo.

In conclusione, quello che si intende per deliberazione cosciente ha ben poco a che fare con la capacità di controllare le azioni nel momento in cui si svolgono, mentre riguarda quella di pianificare in anticipo e di decidere quali azioni vogliamo o non vogliamo eseguire. La deliberazione cosciente riguarda in larga misura decisioni prese nell'arco di tempi estesi, in alcuni casi nell'ordine di giorni o settimane, e comunque solo raramente inferiori ai minuti o ai secondi. Non riguarda, invece, decisioni prese in frazioni di secondo; le decisioni fulminee, infatti, sono generalmente considerate «irriflessive» e «automatiche».[3] La deliberazione cosciente riguarda una *riflessione sulla conoscenza.* Noi ricorriamo a riflessione e conoscenza quando decidiamo in merito a questioni importanti della nostra vita. Usiamo la deliberazione cosciente per gestire questioni riguardanti gli amori e le amicizie, l'istruzione, le attività professionali e le relazioni con gli altri. Anche le decisioni attinenti, in senso più o meno stretto, al comportamento morale richiedono una deliberazione cosciente e hanno luogo nell'arco di tempi estesi. Non solo: queste decisioni sono elaborate in uno spazio mentale privato offline, che ha il sopravvento sulla percezione esterna. Il soggetto immerso nella deliberazione cosciente, il sé responsabile della prospezione del futuro, viene spesso distolto dalla percezione esterna e non presta attenzione ai suoi mutevoli elementi. Vi è un'ottima ragione per questa distrazione in termini di fisiologia cerebrale: come abbiamo visto, lo spazio cerebrale che elabora le immagini è la somma totale delle cortecce sensoriali di ordine infe-

riore; questo stesso spazio deve essere condiviso dai processi di riflessione cosciente *e* dalla percezione diretta; difficilmente riesce a gestire entrambi senza favorire uno dei due.

La deliberazione cosciente, sotto la guida di un solido sé costruito su una autobiografia ben organizzata e un'identità definita, è una conseguenza fondamentale della coscienza: esattamente il tipo di risultato che smentisce chi vede nella coscienza un epifenomeno inutile, un abbellimento senza il quale il cervello eseguirebbe le operazioni di gestione dei processi vitali senza problemi e con la stessa efficienza. Noi non possiamo condurre il nostro tipo di vita, negli ambienti fisici e sociali che sono diventati l'habitat della specie umana, senza la deliberazione cosciente riflessiva. È anche vero, però, che i prodotti della deliberazione cosciente sono significativamente limitati da una gran quantità di pregiudizi esercitati nella modalità non cosciente – alcuni fissati dalla biologia, altri acquisiti attraverso la cultura – e che il controllo non cosciente delle nostre azioni è anch'esso una questione con cui confrontarsi.

Nondimeno, decisioni importantissime sono prese molto tempo prima della loro esecuzione, quando possono essere simulate e verificate nella mente dotata di coscienza, là dove l'effetto dei pregiudizi inconsci può essere potenzialmente minimizzato dal controllo cosciente. Alla fine, l'esercizio delle decisioni può essere perfezionato con l'aiuto dell'elaborazione non cosciente, ovvero grazie alle operazioni sommerse effettuate dalla nostra mente su questioni di conoscenza e di ragionamento generali, alle quali spesso ci riferiamo con il termine di «inconscio cognitivo». Le decisioni coscienti cominciano con la riflessione, la simulazione e la verifica all'interno della mente cosciente; quel processo può poi essere completato e ripercorso nella mente non cosciente, da dove possono essere eseguite le azioni appena selezionate. Le componenti coscienti e non coscienti di questo dispositivo – fragile e complesso – di

decisione ed esecuzione possono essere sviate dall'apparato degli appetiti e dei desideri; in questo caso, è probabile che un ricorso in extremis al veto si riveli inefficace. L'idea di un veto fulmineo ricorda una nota raccomandazione sulla questione della dipendenza da sostanze: «Basta dire no». Questa strategia può essere adeguata per evitare l'innocuo movimento di un dito, ma non quando occorre bloccare un'azione resa urgente da un desiderio intenso o da un forte appetito: in altre parole, non nella situazione che si presenta nel caso di qualsiasi dipendenza da droghe, alcol, cibi particolarmente appetibili, o sesso. Riuscire a dire «no» richiede una lunga preparazione cosciente.

UNA DIVAGAZIONE SULL'INCONSCIO

Grazie al fatto che il nostro cervello ha felicemente combinato la nuova forma di controllo resa possibile dalla coscienza con quella che consisteva nella regolazione automatica inconscia, tali processi cerebrali più antichi, non coscienti, sono all'altezza dei compiti che devono eseguire per conto delle attività decisionali coscienti. Alcune evidenze utili possono essere ricavate da uno studio interessante condotto dallo psicologo olandese Ap Dijksterhuis.[4] Per apprezzare l'importanza dei suoi risultati, dobbiamo descriverne il contesto. Dijksterhuis ha chiesto ai partecipanti al suo esperimento, che erano soggetti normali, di effettuare decisioni di acquisto in due condizioni diverse. In un caso dovevano applicare perlopiù la deliberazione cosciente; nell'altro, a seguito di una distrazione manipolata, erano invece messi in condizione di non poterlo fare.

Vi erano due tipi di oggetti da acquistare. Uno consisteva di oggetti casalinghi banali, come tostapane o asciugamani; l'altro di beni importanti, come case o automobili. Nell'uno e nell'altro caso, il soggetto riceveva un'am-

pia informazione sui pro e i contro di ciascun oggetto, una sorta di rapporto del consumatore completo di cartellino del prezzo. Questa informazione sarebbe risultata utile quando i partecipanti sarebbero stati esortati a scegliere l'oggetto « migliore » da acquistare. Al momento di decidere, però, Dijksterhuis consentiva ad alcuni soggetti di riflettere per tre minuti sulle informazioni prima di compiere la scelta, mentre agli altri negava quel privilegio, provvedendo a distrarli durante quello stesso intervallo di tempo. Per entrambi i tipi di oggetti, banali e non, i soggetti furono esaminati in entrambe le situazioni, con tre minuti di studio attento o di distrazione.

Che cosa possiamo prevedere sulla qualità delle decisioni? Sarebbe perfettamente ragionevole pensare che, nel caso degli oggetti casalinghi banali – considerata la scarsa rilevanza e la ridotta complessità del problema –, i soggetti avranno compiuto una buona scelta in entrambe le modalità, cosciente e non cosciente. Scegliere fra due tostapane, per quanto uno possa essere pignolo, certo non richiede una laurea in ingegneria. Per quanto riguarda l'acquisto degli oggetti più importanti, però, per esempio una berlina a quattro porte, ci aspetteremmo che i soggetti ai quali era consentito di studiare l'informazione avessero compiuto le scelte più felici.

I risultati furono sorprendentemente diversi da queste previsioni. Le decisioni prese senza una precedente riflessione cosciente si rivelarono migliori per entrambi i tipi di acquisto, ma soprattutto nel caso di oggetti importanti. La conclusione superficiale è la seguente: se stai comprando un'automobile o una casa, informati, ma poi non tormentarti e non preoccuparti troppo facendo confronti minuti e considerando tutti i possibili vantaggi e svantaggi. Compra e basta. Con buona pace della scelta cosciente e dei suoi fasti.

Naturalmente questi interessanti risultati non dovrebbero distogliere nessuno dall'esercizio della scelta consapevole. Quello che essi effettivamente indicano è che i processi non coscienti sono capaci di una qualche

sorta di ragionamento, molto più di quanto in genere si riconosca loro, e che questo tipo di ragionamento, una volta che sia stato adeguatamente addestrato dall'esperienza passata e nei casi in cui il tempo stringe, può portare a decisioni positive. Nelle circostanze dell'esperimento, soprattutto nel caso di acquisti importanti, la riflessione attenta e cosciente protratta nel tempo non produce i risultati migliori. L'elevato numero di variabili da considerare e lo spazio esiguo a disposizione del ragionamento cosciente – esiguo per il limitato numero di oggetti a cui si può fare simultaneamente attenzione in un dato momento – riducono la probabilità di compiere la scelta ottimale, considerando anche la finestra temporale limitata. Lo spazio inconscio, al contrario, ha una capacità di gran lunga più ampia: può considerare e manipolare numerose variabili, producendo la scelta potenzialmente migliore in una finestra temporale ristretta.

Lo studio di Dijksterhuis, oltre a quanto ci insegna circa l'elaborazione non cosciente in generale, mette in rilievo altre importanti questioni. Una riguarda il tempo necessario per una decisione. Forse saremmo anche in grado di scegliere il migliore ristorante in assoluto per la cena di stasera, se avessimo a disposizione tutto il pomeriggio per esaminare le ultime recensioni, il costo dei vari piatti sul menù e la qualità dei locali, e poi per confrontare tutto questo con le nostre preferenze, il nostro umore e il saldo del nostro conto in banca. Ma non abbiamo tutto il pomeriggio. Il tempo conta, e dobbiamo dedicarne alla decisione una quantità «ragionevole». La ragionevolezza dipende, naturalmente, dall'importanza della questione che si sta decidendo. Visto che non abbiamo tutto il tempo di questo mondo, invece di fare un ingente investimento in grandi calcoli, conviene ricorrere a qualche scorciatoia. Di positivo c'è che le registrazioni di emozioni passate ci aiuteranno in queste scorciatoie, e che il nostro inconscio cognitivo è una buona fonte di tali registrazioni.

Tutto questo per dire che mi piace moltissimo l'idea che il nostro inconscio cognitivo sia capace di ragionamento e disponga di uno «spazio» di operazione più ampio della sua controparte cosciente. Tuttavia, un elemento critico per spiegare questi risultati riguarda l'esperienza emozionale che il soggetto ha avuto in precedenza con oggetti «importanti» simili a quelli contemplati nell'esperimento. Lo spazio non cosciente è aperto e adatto a questa manipolazione implicita, ma in larga misura funziona in modo vantaggioso perché certe opzioni sono inconsciamente marcate da un pregiudizio connesso a fattori appresi in precedenza, legati a emozioni e sentimenti. Io credo che le conclusioni sul valore della elaborazione *non* cosciente siano corrette, ma la nostra idea di quello che accade sotto la fredda superficie della coscienza si arricchisce molto quando consideriamo, fra i processi non coscienti, anche l'emozione e il sentimento.

L'esperimento di Dijksterhuis illustra la cooperazione di facoltà consce e inconsce. Da sola, l'elaborazione inconscia non potrebbe svolgere il lavoro: negli esperimenti descritti, i processi inconsci fanno moltissimo, ma ciò avviene perché i soggetti hanno beneficiato di anni di deliberazione cosciente durante i quali i loro processi non coscienti sono stati ripetutamente addestrati. Va detto anche che, mentre i processi non coscienti eseguono tutte le loro analisi, i soggetti rimangono perfettamente coscienti. I pazienti incoscienti – anestetizzati o in coma – non prendono decisioni riguardanti il mondo reale, non più di quanto possano godersi il sesso. Ancora una volta, a rivelarsi vincente è la felice sinergia dei livelli impliciti ed espliciti. Noi ci appoggiamo regolarmente all'inconscio cognitivo, durante tutta la giornata, e deleghiamo alla sua esperienza, con discrezione, un certo numero di compiti, compresa l'esecuzione di risposte.

Demandare una prestazione esperta allo spazio non cosciente: è proprio questo che facciamo quando perfezioniamo un'abilità in modo tanto raffinato da non es-

sere più consapevoli dei passaggi tecnici necessari per eseguirla in modo competitivo. Noi sviluppiamo le nostre abilità alla chiara luce della coscienza, ma poi lasciamo che esse sprofondino nell'ampio sotterraneo della nostra mente, dove non ingombrano più lo spazio esiguo a disposizione della riflessione cosciente.

Gli esperimenti di Dijksterhuis rappresentano un arricchimento che va ad aggiungersi a uno sforzo di ricerca tuttora in corso sul ruolo delle influenze non coscienti nei compiti che implicano un'attività decisionale. Agli inizi di quelle ricerche, il nostro gruppo aveva presentato evidenze decisive a tale proposito.[5] Per esempio, dimostrammo che – quando soggetti normali sono impegnati in un gioco di carte che comporta sia guadagni, sia perdite, in condizioni di rischio e di incertezza – i giocatori cominciano ad adottare una strategia vincente un po' prima di essere in grado di spiegare perché lo stiano facendo. Per alcuni minuti, prima dell'adozione della strategia vantaggiosa, il cervello dei soggetti produce risposte psicofisiologiche differenziali ogniqualvolta essi pensano di prendere una carta da uno dei mazzi «cattivi», quelli cioè che promuovono le perdite, mentre la prospettiva di prendere una carta da un mazzo «buono» non genera tali risposte. La bellezza di questo risultato sta nel fatto che le risposte psicofisiologiche – nello studio originale misurate mediante conduttanza cutanea – *non* sono percepibili né dal soggetto, né da un osservatore a occhio nudo. Esse hanno luogo al di sotto del radar della coscienza del soggetto: furtive proprio come lo spostamento comportamentale verso la strategia vincente.[6]

Che cosa accada esattamente non è ancora del tutto chiaro, ma di qualsiasi cosa si tratti non richiede lo stato di coscienza nell'istante presente. Può darsi che l'equivalente inconscio di una sensazione viscerale cosciente «scuota», per così dire, il processo decisorio, influenzando la computazione non cosciente e impedendo la selezione dell'oggetto sbagliato. Con ogni probabilità è in corso, a livello non cosciente, nei sotterranei della

mente, un importante processo di ragionamento che produce risultati senza che i passaggi intermedi siano mai conosciuti. Quale che sia, il processo dà luogo all'equivalente di un'*intuizione* senza il riconoscimento consapevole del fatto che si è pervenuti alla soluzione, la quale viene offerta semplicemente, senza clamore.

Le prove di un'elaborazione non cosciente sono andate costantemente accumulandosi. Le nostre decisioni economiche non sono guidate dalla pura razionalità e sono significativamente influenzate da potenti pregiudizi, per esempio l'antipatia per le perdite e il piacere che traiamo dai guadagni.[7] Il modo in cui interagiamo con gli altri è influenzato da moltissimi pregiudizi che hanno a che fare con il genere, la razza, i modi, gli accenti e l'abbigliamento. Il contesto in cui ha luogo l'interazione introduce i propri pregiudizi, legati a questioni di familiarità e struttura. Gli interessi e le emozioni che stavamo sperimentando prima dell'interazione hanno anch'essi un ruolo importante, come lo ha l'ora del giorno: abbiamo fame? siamo sazi? Noi esprimiamo in modo esplicito, oppure segnaliamo indirettamente, le nostre preferenze per i volti umani, e lo facciamo a una velocità fulminea, senza aver avuto il tempo per un'elaborazione consapevole dei dati che avrebbero sostenuto una corrispondente inferenza ragionata: a maggior ragione, questo è un motivo per stare particolarmente attenti quando si tratta di decisioni importanti nella nostra vita pubblica, come in quella privata.[8] Va benissimo lasciare che l'influenza inconscia delle emozioni passate ci guidi nella scelta di una casa purché, prima di firmare il contratto, ci fermiamo a riflettere attentamente sull'opzione offerta dall'inconscio. Rianalizzando i dati, a prescindere dal modo in cui abbiamo giudicato intuitivamente la situazione, potremmo concludere che la scelta non è valida, per esempio perché le nostre esperienze passate in questo campo sono atipiche, viziate dal pregiudizio, o insufficienti. Questo è importante soprattutto se stiamo esprimendo un voto in qualità di elettori o di giurati.

Uno dei principali problemi che affronta chi vota nelle elezioni politiche e nelle aule di tribunale è rappresentato dall'intensità dei fattori emozionali/non coscienti. A tal punto la forza di tali fattori è riconosciuta, che negli ultimi decenni è stato sviluppato – come fosse un'industria – un apparato assolutamente mostruoso per influenzare l'elettorato, insieme a metodi meno pubblicizzati, ma ugualmente sofisticati, per orientare la scelta dei giurati.

La riflessione e la rivalutazione, il controllo dei dati e la riconsiderazione del problema sono essenziali. Qui vi è una grande occasione di investire altro tempo nella decisione: preferibilmente prima di entrare nella cabina elettorale o di mettere il proprio voto nelle mani del primo giurato.

Tutti questi risultati esemplificano situazioni in cui le influenze non coscienti – emozionali o no – e i passaggi non consapevoli del ragionamento hanno una relazione con l'esito di un compito. I soggetti tuttavia sono perfettamente coscienti sia quando vengono loro fornite le premesse del compito, sia quando ha luogo la decisione, e vengono informati dei risultati delle loro azioni. È chiaro che questi sono esempi di componenti non coscienti di decisioni altrimenti coscienti. Essi ci lasciano intravedere la complessità e la varietà dei meccanismi che stanno dietro alla facciata del controllo cosciente (che si suppone perfetto), senza tuttavia negare le nostre facoltà di scelta e senza sollevarci dalla responsabilità delle nostre azioni.

UNA NOTA SULL'INCONSCIO GENOMICO

Occorre, qui, una breve nota riguardante l'inconscio genomico, una delle forze nascoste con le quali la deliberazione cosciente deve venire a patti. Che cosa intendo con l'espressione «inconscio genomico»? Molto

semplicemente, la colossale quantità di istruzioni, contenute nel nostro genoma, che guidano la costruzione dell'organismo conferendogli i caratteri distintivi del nostro fenotipo – sia nel corpo in senso stretto, sia nel cervello – e che contribuiscono ulteriormente al suo funzionamento. Le istruzioni per lo schema fondamentale dei nostri circuiti cerebrali sono contenute nel genoma, e quello schema contiene a sua volta il primissimo repertorio di know-how non cosciente grazie al quale il nostro organismo può essere governato. Il know-how ha a che fare in primo luogo, e soprattutto, con la regolazione dei processi vitali – questioni di vita e di morte – e con la riproduzione; ma proprio a causa della centralità di quei problemi, lo schema promuove diversi comportamenti che possono sembrare decisi dalla cognizione cosciente, ma che in realtà sono guidati dalle disposizioni non coscienti. Le preferenze spontanee che manifestiamo precocemente nell'arco della nostra vita – preferenze riguardanti quello che mangiamo e beviamo, i compagni e l'habitat che scegliamo – sono in parte guidate dall'inconscio genomico, sebbene nel corso di tutto lo sviluppo possano essere modulate e modificate dall'esperienza individuale.

La psicologia riconosce da tempo l'esistenza dei fondamenti inconsci del comportamento e li ha studiati a proposito dell'istinto, dei comportamenti automatici, delle pulsioni e delle motivazioni. A essere cambiata, in tempi recenti, è la comprensione del fatto che l'installazione precoce di queste disposizioni nel cervello umano è sotto una considerevole influenza genetica e che, nonostante tutto il plasmare e rimodellare che intraprendiamo come individui dotati di coscienza, la portata di queste disposizioni – che sono di una pervasività sbalorditiva – è tale da toccare un'ampia gamma di temi. Questo è notevole soprattutto per quanto riguarda alcune delle disposizioni sulle quali sono state costruite le strutture culturali. L'inconscio genetico ha avuto qualcosa da dire sul primo formarsi delle arti, dalla musica alla

pittura e alla poesia. Ha avuto qualcosa a che fare con la prima strutturazione dello spazio sociale, compresa l'istituzione di convenzioni e regole. Come Freud e Jung sicuramente percepirono, ha avuto qualcosa a che fare anche con molti aspetti della sessualità umana. Ha contribuito moltissimo alle fondamentali narrazioni della religione e ai tradizionali intrecci delle opere di teatro e dei romanzi che ruotano in misura non trascurabile intorno alla forza dei programmi emozionali ispirati dal genoma. È una gelosia cieca – impermeabile al buonsenso, alle prove stringenti e alla ragione – quella che spinge Otello a uccidere una Desdemona assolutamente innocente, e Karenin a punire l'adultera Anna con tanta durezza. Il catastrofico rancore di Iago probabilmente non avrebbe avuto effetto se non fosse stato per la naturale vulnerabilità di Otello alla gelosia. L'asimmetria cognitiva della sessualità maschile e femminile, molti parametri della quale sono scolpiti nel nostro genoma, ispira il comportamento di questi personaggi e li manterrà per sempre attuali. L'intensa aggressività maschile di Achille, Ettore e Ulisse ha, allo stesso modo, radici profonde nell'inconscio genetico. Lo stesso si potrebbe dire di due personaggi, Edipo e Amleto, annientati per aver infranto il tabù dell'incesto o per l'inclinazione non dichiarata a infrangerlo. L'interpretazione freudiana di questi personaggi senza tempo si fonde con le loro origini evolutive, sottolineando alcuni aspetti frequentissimi della natura umana. Il teatro e il romanzo – come pure il cinema, loro erede del Novecento – hanno grandemente beneficiato dell'inconscio genomico.

L'inconscio genomico è in parte responsabile della grande somiglianza che contraddistingue il repertorio del comportamento umano. È davvero straordinario, allora, che noi costantemente ci discostiamo dagli universali monotoni creando invece, grazie all'arte o alla semplice magia di un incontro umano, un insieme infinito, che incanta e stupisce, di variazioni sul tema della vita.

Quanto spesso siamo guidati da un inconscio cognitivo ben esercitato, addestrato sotto la supervisione della riflessione cosciente a osservare ideali, desideri e progetti coscientemente concepiti? E quanto spesso siamo guidati da pregiudizi, appetiti e desideri biologicamente antichi, inconsci, profondamente radicati? Ho il sospetto che la maggior parte di noi, deboli peccatori dalle buone intenzioni, operi su entrambi i registri: più sull'uno o più sull'altro, a seconda della situazione e dell'ora della giornata.

Quale che sia il registro al livello del quale stiamo operando, virtuoso o meno, nell'attimo del suo svolgimento l'azione è inevitabilmente accompagnata dall'impressione – a volte falsa, a volte no – di aver agito, in quel luogo e in quell'istante, sotto il pieno controllo del nostro sé, completamente impegnato in quello che stavamo facendo. Quell'impressione è un *sentimento*: un sentimento che affiora quando il nostro organismo si impegna in una nuova percezione o inizia una nuova azione, null'altro che il sentimento di conoscenza che ho già discusso come parte integrante del sé. Questa prospettiva è condivisa da Dan Wegner, il quale descrive la volontà cosciente come «il marcatore somatico della identità autoriale, un'emozione che autentica il sé quale proprietario dell'azione. Con il sentimento di compiere un'azione, noi abbiamo una sensazione cosciente di volontà associata all'azione».[9] In altre parole, non siamo meri «automi coscienti», come ci considerava T.H. Huxley un secolo fa, incapaci di controllare la nostra esistenza.[10] Quando la mente è informata delle azioni intraprese dall'organismo, il sentimento associato all'informazione indica che quelle azioni sono state generate dal sé. Sia l'informazione, sia l'autenticazione delle azioni in corso sono essenziali per motivare la deliberazione delle azioni future. Senza quel tipo di informazione, sentita e validata, noi non saremmo in grado di assumerci la responsabilità morale delle azioni intraprese dal nostro organismo.

Un maggiore controllo sulle stravaganze del comportamento umano può derivare soltanto dall'accumulo di conoscenza e dalla considerazione dei fatti così scoperti. Prendersi il tempo necessario per analizzare i fatti, valutare l'esito delle decisioni e ponderare i loro risultati emozionali: questa è la via per costruire quella sorta di guida pratica altrimenti nota come saggezza. Grazie a essa, possiamo riflettere e sperare di orientare il nostro comportamento nel contesto delle convenzioni culturali e delle norme etiche che hanno ispirato la nostra biografia e il mondo in cui viviamo. Possiamo anche reagire a quelle convenzioni e a quelle norme, affrontare il conflitto che segue quando ci opponiamo a esse, e addirittura tentare di modificarle. Il conflitto affrontato dagli obiettori di coscienza è un buon esempio in tal senso.

Non meno importante, dobbiamo essere consapevoli del peculiare ostacolo affrontato dalle decisioni ponderate coscientemente: esse devono farsi strada nell'inconscio cognitivo in modo da permeare l'apparato che porta all'azione, e noi dobbiamo facilitare quell'influenza. Un modo per rimuovere l'ostacolo sarebbe un intenso esercizio cosciente delle procedure e delle azioni che vorremmo veder realizzate in modo inconscio: un processo di pratica ripetuta che porta a padroneggiare una *abilità di prestazione*, un programma d'azione psicologico che viene composto coscientemente per poi essere spostato sotto la superficie della coscienza.

Qui non sto inventando niente di nuovo: sto semplicemente descrivendo un meccanismo pratico dedotto da quelle che presumo debbano essere le operazioni neurali della decisione e dell'azione. Per millenni, i leader capaci sono pervenuti a soluzioni simili quando chiedevano ai propri seguaci di osservare rituali controllati, i cui effetti collaterali devono essere stati la graduale imposizione di decisioni prese coscientemente sui processi d'azione inconsci. Il fatto che quei rituali spesso

comportassero la creazione di emozioni amplificate, dolore compreso, non sorprende: si tratta di un mezzo, scoperto empiricamente, per imprimere il meccanismo desiderato nella mente umana. Quello che sto immaginando, però, va ben oltre i rituali civili e religiosi, e si spinge ad abbracciare questioni di vita quotidiana riconducibili a molti campi diversi. In particolare, sto pensando a questioni attinenti alla salute e al comportamento sociale. Il fatto che noi educhiamo in modo insufficiente i nostri processi inconsci probabilmente spiega, per esempio, perché tanti falliscano miseramente quando si tratta di comportarsi correttamente in merito alla dieta e all'esercizio fisico. Noi *crediamo* di avere il controllo della situazione, ma spesso non l'abbiamo affatto, come dimostrano le epidemie di obesità, ipertensione e cardiopatie. La nostra costituzione biologica ci rende inclini a consumare quello che non dovremmo; d'altra parte, le tradizioni culturali ispirate e plasmate da quella costituzione biologica, come pure l'industria pubblicitaria che fa leva su di essa, fanno altrettanto. Non vi è alcun complotto, qui: è solo natura. Forse in questo contesto la costruzione di abilità ritualizzate sarebbe opportuna, se servisse.

Lo stesso vale per l'epidemia di dipendenza da sostanze. Una ragione per la quale così tanti individui sviluppano una dipendenza a ogni sorta di droghe, per non parlare dell'alcol, ha a che fare con le pressioni esercitate dall'omeostasi. Nel corso di una giornata normale, noi affrontiamo inevitabilmente frustrazioni, ansie e difficoltà che alterano l'equilibrio omeostatico e di conseguenza possono farci sentire male: forse angosciati, scoraggiati o tristi. Un effetto delle cosiddette sostanze d'abuso è quello di ripristinare – rapidamente e transitoriamente – l'equilibrio perduto. In che modo? Io credo che esse modifichino l'immagine «sentita» che il cervello si forma del proprio corpo. Lo stato di squilibrio omeostatico viene rappresentato, a livello neurale, come un paesaggio corporeo intralciato e problemati-

co. Dopo l'assunzione di certe sostanze, a certi dosaggi, il cervello rappresenta a se stesso un organismo che funziona in modo più fluido. La sofferenza corrispondente all'immagine sentita in precedenza si trasforma in un temporaneo piacere. Il sistema cerebrale degli appetiti è stato sequestrato, e il risultato finale non è certo l'agognato riequilibrio dell'omeostasi, almeno non per molto. Nondimeno, respingere la possibilità di una rapida correzione della sofferenza richiede uno sforzo enorme, anche a chi già sa che la correzione sarà di breve durata e che le conseguenze di quella scelta possono essere terribili. Nel quadro generale che ho tracciato, vi è un'ovvia ragione per questo stato di cose. In condizioni naturali, l'esigenza omeostatica non cosciente detiene il controllo e può essere contrastata solo da una forza contraria potente e bene addestrata. Sembra che Spinoza avesse visto giusto quando diceva che un'emozione dalle conseguenze negative poteva essere contrastata solo da un'altra emozione, più intensa. Questo forse significa che addestrare il processo inconscio a declinare educatamente di per sé non rappresenta una soluzione: il dispositivo inconscio deve essere addestrato dalla mente cosciente a rispondere a suon di emozioni.

CERVELLO E GIUSTIZIA

I concetti di controllo conscio e inconscio ispirati alla biologia sono rilevanti sia ai fini del modo in cui viviamo, sia, soprattutto, del modo in cui dovremmo vivere. Forse, però, in nessun caso la rilevanza è maggiore che nelle questioni riguardanti il comportamento sociale, in particolare quel settore noto come comportamento morale, e l'infrazione dei patti sociali codificati nelle leggi.

La civiltà, e in special modo il suo aspetto attinente alla giustizia, ruota intorno al concetto che gli esseri umani sono coscienti in una maniera che è preclusa agli ani-

mali. In linea di massima, le culture hanno evoluto sistemi giudiziari che adottano un approccio di buonsenso alle complessità del processo decisorio e mirano a proteggere le società da coloro che violano le leggi stabilite. Comprensibilmente, e con rare eccezioni, il peso dato alle informazioni offerte dalle neuroscienze e dalle scienze cognitive è stato trascurabile.

Ora vi è un timore crescente che le informazioni sulla funzione cerebrale, conosciuta sempre meglio, possano mettere in discussione l'applicazione delle leggi: un problema che i sistemi giuridici hanno in linea di massima schivato evitando di prendere in considerazione quelle informazioni. La risposta, però, dev'essere sfumata. Il fatto che qualunque individuo capace di conoscenza sia responsabile delle proprie azioni non implica che la neurobiologia della coscienza sia irrilevante tanto ai fini giudiziari, quanto ai fini dell'educazione che deve preparare i futuri adulti a un'esistenza sociale adattativa. Al contrario, avvocati, giudici, legislatori, politici ed educatori devono tutti conoscere la neurobiologia della coscienza e del processo decisorio: tale conoscenza è importante per promuovere leggi realistiche e preparare le future generazioni al controllo responsabile delle proprie azioni.

In certi casi di disfunzione cerebrale, anche una capacità riflessiva esercitata al meglio può non riuscire a controllare certe forze, a prescindere dal fatto che esse siano o meno coscienti. Stiamo appena cominciando a comprendere il profilo di questi casi, tuttavia sappiamo, per esempio, che i pazienti con certi tipi di lesione prefrontale possono non essere in grado di controllare gli impulsi. Questi individui non esercitano un controllo normale sulle proprie azioni. Come dovranno essere giudicati se finiranno nelle maglie della giustizia? Come criminali o come pazienti neurologici? Secondo me, forse, come entrambe le cose. La loro malattia neurologica non dovrebbe in alcun modo giustificare le loro azioni, anche se può spiegare alcuni aspetti di un cri-

mine. D'altra parte, se costoro sono neurologicamente malati, di fatto sono dei pazienti, e la società deve trattarli di conseguenza. A tal proposito, la tragedia è che stiamo appena cominciando a comprendere questi aspetti della malattia neurologica: una volta formulata la diagnosi, abbiamo ben poco da offrire in termini di terapia. Questo però non limita in alcun modo la responsabilità della società sia per quanto riguarda la comprensione e il dibattito pubblico sulle conoscenze disponibili, sia relativamente alla necessità di ulteriori ricerche su queste materie.[11]

Alcuni altri pazienti, nei quali il danno prefrontale è concentrato a livello ventromediale, giudicano ipotetici dilemmi morali in modo molto pragmatico e utilitaristico: ai fini di quanto vi è di più nobile nello spirito umano, si tratta di un approccio di valore scarso o nullo. Per esempio, se si sottopone a questi pazienti un ipotetico caso di tentato omicidio che, nonostante l'intenzione, non ha dato luogo a una morte, essi non giudicano la situazione significativamente diversa da quella di un'uccisione accidentale e involontaria. In effetti, potrebbero addirittura trovare la prima situazione più accettabile.[12] La maniera in cui tali individui interpretano le motivazioni, gli intenti e le conseguenze è a dir poco non convenzionale, anche se probabilmente nella loro vita quotidiana non farebbero male a una mosca. Abbiamo ancora molto da imparare sul modo nel quale il cervello umano elabora i giudizi riguardanti il comportamento e controlla le azioni.

NATURA E CULTURA

La storia della vita ha la forma di un albero con molti rami, ciascuno dei quali porta a diverse specie; anche quelle che non si trovano all'apice dei rami più alti possono rivelare una superba intelligenza nel loro contesto

zoologico, ed è rispetto a quel contesto che dovremmo giudicare le loro prestazioni. Quando osserviamo l'albero della vita in prospettiva, però, non possiamo non riconoscere che effettivamente gli organismi procedono dal più semplice al più complesso: è dunque ragionevole chiedersi quando, nella storia della vita, sia emersa la coscienza e che cosa abbia comportato. Che cosa implicò per la vita la sua comparsa? Se esaminiamo l'evoluzione biologica come un'ascesa non premeditata, la risposta ragionevole è che essa apparve piuttosto tardi, in corrispondenza dei rami più alti dell'albero della vita. Non vi è alcun segno di coscienza nel brodo primordiale o nei batteri, e neppure negli organismi unicellulari o in quelli pluricellulari più semplici, e tanto meno nei funghi o nelle piante: tutte forme di vita interessanti che presentano complicati dispositivi per la regolazione dei processi vitali, gli stessi dei quali successivamente la coscienza avrebbe migliorato le prestazioni. Nessuno di questi organismi ha un cervello, e meno che mai una mente: in assenza di neuroni, il comportamento è limitato e la mente non è possibile; e se non vi è mente, non vi è nemmeno la coscienza come tale, ma solo i suoi precursori.

Quando comparvero i neuroni, come variazione sul tema rappresentato dalle altre cellule del corpo, la vita cambiò in modo straordinario. Costituiti dalle stesse componenti presenti nelle altre cellule, essi sbrigano le loro funzioni generali esattamente allo stesso modo; eppure, sono speciali. Diventano portatori di segnali, dispositivi di elaborazione capaci di trasmettere e ricevere messaggi. In virtù di quelle capacità di segnalazione, i neuroni si organizzano in circuiti e reti complesse. A loro volta, questi ultimi rappresentano eventi che hanno luogo in altre cellule e, direttamente o indirettamente, influenzano sia le funzioni di altri elementi cellulari, sia le proprie. I neuroni *riguardano* da vicino le altre cellule del corpo, tuttavia non perdono essi stessi quello status solo perché hanno acquisito la capacità di trasmettere segnali elettrochimici, di inviare quei segnali a moltissi-

mi siti dell'organismo e di costituire circuiti e sistemi di enorme complessità. I neuroni sono cellule del corpo, e come tutte le cellule del corpo (dalle quali differiscono principalmente per la capacità di mettere a segno virtuosismi loro esclusivi) dipendono essenzialmente dai nutrienti e sono fermamente determinati a vivere a lungo, se possibile quanto l'organismo loro proprietario. La separazione corpo-cervello è stata in qualche modo esagerata, giacché i neuroni che costituiscono il cervello *sono* cellule del corpo, e questo ha effettivamente attinenza con il problema mente-corpo.

Una volta che i neuroni trovano posto all'interno di organismi capaci di movimento, la vita cambia in un modo che la natura non ha concesso alle piante. Ha così inizio, nella complessità funzionale, un inarrestabile progresso che porta da comportamenti sempre più elaborati ai processi mentali e infine alla coscienza. Un segreto alla base di questo aumento di complessità è stato ormai chiarito: ha a che fare sia con il numero di neuroni disponibili in un dato organismo, sia, cosa non meno importante, con le loro modalità di organizzazione in circuiti su scala sempre più ampia, fino ad arrivare a regioni cerebrali macroscopiche che formano sistemi caratterizzati da intricati rapporti funzionali. La ragione per cui non è possibile accostarsi ai problemi del comportamento e della mente affidandosi in modo esclusivo all'indagine riguardante i singoli neuroni, o le molecole che agiscono su di essi, o i geni implicati nel controllo del loro ciclo vitale sta proprio nel numero delle cellule nervose e nell'importanza delle loro modalità di organizzazione. Lo studio di singole cellule, di microcircuiti, di molecole e di geni è indispensabile per comprendere il problema in modo esaustivo. Tuttavia, se la mente e il comportamento delle scimmie antropomorfe e degli esseri umani sono tanto differenti, è proprio a causa del *numero* degli elementi cerebrali in gioco e delle loro *modalità* di organizzazione.

I sistemi nervosi si svilupparono per gestire i processi vitali e amministrare il valore biologico; inizialmente assistiti nel loro compito da disposizioni per le quali non occorreva un cervello, alla fine furono coadiuvati dalle immagini, e cioè dalla mente. L'emergere di quest'ultima produsse miglioramenti spettacolari nella regolazione dei processi vitali di numerose specie, anche quando le immagini erano prive di dettagli fini e duravano solo l'istante della percezione, svanendo completamente subito dopo. Il cervello degli insetti sociali è un esempio di queste prestazioni, sorprendentemente sofisticate ma in un certo senso prive di flessibilità, vulnerabili all'interruzione delle sequenze comportamentali e non ancora in grado di conservare le rappresentazioni in uno spazio temporaneo della memoria di lavoro. In numerose specie diverse dalla nostra, il comportamento basato sulla presenza della mente divenne molto complesso, ma è plausibile ritenere che la flessibilità e la creatività tipiche delle prestazioni umane non siano potute emergere soltanto grazie alla presenza di una mente generica. Occorreva, invece, che essa diventasse protagonista, che fosse arricchita da un processo del sé affiorante al suo interno.

Una volta che il sé affiora nella mente, il gioco della vita cambia, non senza qualche incertezza iniziale. Le immagini del mondo interno e di quello esterno possono essere organizzate in modo coesivo intorno al proto-sé ed essere orientate dalle esigenze omeostatiche dell'organismo. I dispositivi di ricompensa e punizione, come pure gli impulsi e le motivazioni, che hanno plasmato i processi della vita negli stadi precedenti dell'evoluzione, contribuiscono poi con lo sviluppo di emozioni complesse. È a questo punto che l'intelligenza sociale comincia a essere flessibile. Infine, la presenza del sé nucleare è seguita da un'espansione dello spazio di elaborazione mentale, della memoria e della rievocazione convenzionali, della memoria di lavoro e del ragionamento. La regolazione dei processi vitali si concentra su un individuo che a poco a poco va definendosi meglio. Da ultimo

emerge il sé autobiografico, e con la sua entrata in scena la regolazione della vita cambia radicalmente.

Se la natura può essere considerata indifferente, incurante e senza scrupoli, ecco che negli esseri umani la coscienza crea la possibilità di mettere in discussione quel suo modo di essere. L'emergere della coscienza umana è associato a sviluppi evolutivi che hanno interessato il cervello, il comportamento e la mente, e che hanno infine condotto alla creazione della cultura, una novità radicale nella storia naturale. La comparsa dei neuroni, accompagnata dalla diversificazione del comportamento e dalla preparazione all'emergere della mente, costituisce un evento epocale nella grandiosa traiettoria della vita. L'evento epocale successivo, però, è la comparsa di un cervello cosciente divenuto infine capace di riflettere su se stesso dando prova di flessibilità. È qui che si apre la strada che porterà a ribattere alle imposizioni di una natura incurante con una risposta ribelle, per quanto imperfetta.

Come si sviluppò la mente indipendente e ribelle? Qui si può soltanto fare qualche speculazione, e le pagine che seguono non sono che l'abbozzo di un quadro di immensa complessità la cui descrizione non può trovare spazio in un unico libro, meno che mai in un singolo capitolo. Possiamo tuttavia essere certi che il ribelle non si sviluppò all'improvviso. Le menti costituite da mappe di diverse modalità sensoriali si rivelarono utili per migliorare la regolazione dei processi vitali; anche quando divennero immagini mentali propriamente *sentite*, però, le mappe non erano indipendenti, e certo nemmeno ribelli. Le immagini «sentite» dell'interno dell'organismo contribuirono ad aumentare le probabilità di sopravvivenza e crearono uno spettacolo potenzialmente bello, sebbene non vi fosse nessuno a guardarlo. Quando le menti per la prima volta aggiunsero alla propria dotazione un sé nucleare, ovvero nel momento in cui effettivamente ebbe inizio la coscienza, ci stavamo avvicinando alla meta, senza però averla ancora raggiunta. La

presenza di un semplice protagonista fu un chiaro vantaggio, perché generava una connessione stabile fra le esigenze legate alla regolazione dei processi vitali da un lato e, dall'altro, la profusione di immagini mentali formate dal cervello e riferite al mondo circostante. La guida del comportamento fu ottimizzata. Ma l'indipendenza di cui sto parlando poté affiorare solo una volta che il sé ebbe raggiunto una complessità sufficiente a svelare un quadro più completo della condizione umana: quando gli organismi viventi furono in condizioni di capire che erano sì in gioco il dolore e la perdita, ma anche il piacere, la prosperità e la follia; quando vi furono domande da porre sul passato e sul futuro dell'umanità; quando l'immaginazione fu in grado di mostrare il modo in cui era forse possibile ridurre la sofferenza, minimizzare la perdita e rendere più probabili felicità e fantasie. È qui che il ribelle cominciò a guidare l'esistenza umana in nuove direzioni, alcune insubordinate, altre accomodanti, ma tutte basate sulla riflessione attraverso la conoscenza: all'inizio mitica, in seguito scientifica – ma pur sempre conoscenza.

IL SÉ VIENE ALLA MENTE

Che meraviglia sarebbe scoprire dove e quando un robusto sé affiorò nella mente e cominciò a generare quella rivoluzione biologica che chiamiamo cultura! Nonostante l'impegno continuamente profuso nella ricerca da parte di coloro che interpretano e datano le testimonianze umane sopravvissute nel tempo fino a noi, non siamo in grado di soddisfare queste curiosità. Di certo la maturazione del sé avvenne in modo lento e graduale, ma non uniforme, e il processo ebbe luogo in diverse parti del mondo, ma non necessariamente nella stessa epoca. Sappiamo, tuttavia, che i nostri antenati umani più diretti erano su questa Terra circa duecentomila an-

ni fa e che circa trentamila anni or sono gli esseri umani producevano pitture rupestri, sculture e incisioni sulla roccia, fondevano i metalli e fabbricavano gioielli – e forse facevano anche musica. Si ritiene che le pitture della grotta Chauvet nell'Ardèche risalgano a trentaduemila anni fa, mentre le grotte di Lascaux – con centinaia di pitture complesse e migliaia di incisioni, in una complicata miscela di figure e segni astratti – erano già una sorta di Cappella Sistina diciassettemila anni fa. In quei luoghi, era chiaramente già all'opera una mente capace di rappresentazione simbolica. L'esatta relazione fra l'emergere del linguaggio e l'esplosione dell'espressione artistica e della fabbricazione di strumenti sofisticati che contraddistingue *Homo sapiens* non è nota. Sappiamo però che da decine di migliaia di anni gli esseri umani eseguivano rituali funebri abbastanza elaborati da richiedere una preparazione speciale del morto e l'equivalente delle lapidi. È difficile immaginare che comportamenti del genere potessero essersi affermati in assenza di un esplicito interesse per la vita, di un primo tentativo di interpretare l'esistenza e assegnarle un valore, di certo emozionale, ma anche intellettuale. Ed è inconcepibile che quell'interesse o quell'interpretazione potessero sorgere in assenza di un robusto sé.

Lo sviluppo della scrittura, circa cinquemila anni fa, fornisce diverse solide evidenze: quando appaiono i poemi omerici, che probabilmente risalgono a meno di tremila anni fa, il sé autobiografico era indubbiamente già affiorato nella mente umana. Io comunque simpatizzo con Julian Jaynes, quando ritiene probabile che, nell'intervallo relativamente breve intercorso fra gli eventi narrati nell'*Iliade* e quelli dell'*Odissea*, nella mente umana sia accaduto qualcosa di fondamentale.[13] Mentre andava accumulandosi la conoscenza sugli esseri umani e sull'universo, può darsi benissimo che la continua riflessione abbia alterato la struttura del sé autobiografico, portando a una stretta unione di aspetti relativamente disparati dell'elaborazione mentale; il coordinamento

dell'attività cerebrale, dapprima guidato dal valore e poi dalla ragione, stava lavorando a nostro vantaggio. Comunque siano andate le cose, il sé che io immagino capace di ribellione è uno sviluppo recente, la cui distanza da noi è nell'ordine delle migliaia di anni: un mero istante, nel tempo evolutivo. Quel sé attinge a caratteristiche del cervello umano che con ogni probabilità furono acquisite durante il lungo periodo del Pleistocene: esso dipende dalla capacità del cervello di trattenere ampie registrazioni mnemoniche non solo relative alle capacità motorie, ma anche a fatti ed eventi: in particolare a fatti ed eventi personali, che costituiscono l'impalcatura della biografia, della personalità e dell'identità individuale. Dipende dall'abilità di ricostruire e manipolare le registrazioni mnemoniche in uno spazio di lavoro cerebrale parallelo allo spazio percettivo: un'area offline dove il tempo può essere momentaneamente sospeso e le decisioni possono quindi essere liberate dalla tirannia della risposta immediata. Dipende dalla capacità del cervello di produrre non solo rappresentazioni mentali che imitino pedissequamente e mimeticamente la realtà, ma anche rappresentazioni simboliche di azioni, oggetti e individui. Il sé ribelle dipende dalla capacità del cervello di comunicare gli stati mentali, soprattutto gli stati del sentire, attraverso gesti del corpo e delle mani, come pure attraverso la voce, nella forma di tonalità musicali e linguaggio verbale. Da ultimo, esso dipende dall'invenzione di sistemi di memoria esterna, paralleli a quelli presenti in ciascun cervello – e qui intendo le rappresentazioni offerte dai primi dipinti, incisioni e sculture, come pure gli strumenti, i gioielli, l'architettura funeraria e, molto tempo dopo l'emergere del linguaggio, le testimonianze scritte, che di certo sono state fino a tempi recentissimi la varietà più importante di memoria esterna.

Una volta che il sé autobiografico può operare sulla base della conoscenza impressa nei circuiti cerebrali e nelle registrazioni esterne fissate sulla pietra, sull'argilla

o sulla carta, gli esseri umani diventano capaci di agganciare le proprie esigenze biologiche individuali all'insieme delle conoscenze collettive. Comincia così un lungo processo di indagine, riflessione e risposta, che nel corso di tutta la storia umana registrata si esprime nei miti, nelle religioni, nelle arti e nelle varie strutture escogitate per governare il comportamento sociale: i princìpi etici, i sistemi giudiziari, l'economia, la politica, la scienza e la tecnologia. Le conseguenze ultime della coscienza si realizzano grazie alla memoria, acquisita attraverso un filtro costituito dal valore biologico e animata dalla ragione.

LE CONSEGUENZE DI UN SÉ CAPACE DI RIFLESSIONE

Immaginiamo i primi esseri umani, quando il linguaggio verbale si era ormai affermato da qualche tempo come mezzo di comunicazione. Immaginiamo individui coscienti il cui cervello era dotato di molte delle capacità che riscontriamo negli esseri umani odierni e che cercavano in larga misura le stesse cose che cerchiamo noi oggi: cibo, sesso, riparo, sicurezza, comodità, dignità, forse trascendenza. In quell'ambiente, la competizione per le risorse era un problema dominante, le occasioni di conflitto saranno state numerose e la cooperazione era essenziale. Il comportamento era orientato dalle ricompense, dalle punizioni e dall'apprendimento. Supponiamo che quegli esseri umani possedessero una gamma di emozioni simili alle nostre: senza dubbio erano presenti attaccamento, disgusto, paura, gioia, tristezza e rabbia accanto a emozioni che governavano la socialità, per esempio la fiducia, la vergogna, il senso di colpa, la compassione, il disprezzo, l'orgoglio, la soggezione e l'ammirazione. Supponiamo anche che quei primi esseri umani fossero già animati da un'intensa curiosità riguardante sia il loro ambiente fisico, sia gli altri esseri vi-

venti, a prescindere dal fatto che appartenessero o meno alla loro stessa specie. Se gli studi condotti nel secolo scorso su tribù relativamente isolate possono farci in qualche modo da guida, essi erano anche curiosi nei confronti di se stessi e raccontavano storie sulle proprie origini e il proprio destino. È relativamente facile immaginare quale fosse il motore alla base di quella curiosità. Questi esseri umani primitivi avranno provato affetto e attaccamento per altri individui ai quali erano legati – soprattutto i partner sessuali e la prole, e avranno vissuto il dolore derivante dalla rottura di quei legami, dall'assistere alla sofferenza degli altri, o dal vivere la sofferenza in prima persona. Avranno anche vissuto, da protagonisti e da testimoni, momenti di gioia e di soddisfazione, riscuotendo successi in attività diverse: la caccia, il corteggiamento, la ricerca di un riparo, la guerra, l'allevamento dei bambini.

Presumibilmente questa sistematica scoperta del dramma insito nell'esistenza umana e delle sue possibili compensazioni avvenne solo dopo il completo sviluppo della coscienza: una mente munita di un sé autobiografico capace di guidare il pensiero riflessivo e l'accumulo di conoscenza. Alla fine, date le loro probabili capacità intellettuali, i primi esseri umani si saranno interrogati circa il proprio stato nell'universo: qualcosa di simile alle domande che a distanza di migliaia di anni tormentano anche noi oggi: *da dove veniamo? dove andiamo?* Ed è a quel punto che matura il sé ribelle. È a quel punto che vengono sviluppati i miti per spiegare la condizione umana e i suoi meccanismi; ed è sempre a quel punto che vengono elaborate convenzioni e norme sociali che portano alla nascita di una autentica moralità, la quale si colloca al di sopra di comportamenti premorali come l'altruismo di parentela e l'altruismo reciproco, comportamenti che la natura aveva esibito molto prima che emergesse il sé riflessivo; è a quel punto, infine, che a partire dai miti, e intorno a essi, vengono create narrazioni religiose mirate sia a spiegare le ragioni alla base

del dramma umano, sia a imporre le nuove leggi designate a mitigarlo. In breve, la coscienza riflessiva non solo amplificò la rivelazione sull'esistenza, ma consentì agli individui che ne erano dotati di cominciare a interpretare la propria condizione e ad agire.

Io ipotizzo che il motore alla base di questi sviluppi culturali sia l'*impulso omeostatico*. Le spiegazioni che si fondano esclusivamente sulla significativa espansione cognitiva prodotta da cervelli più grandi e più intelligenti non riescono a giustificare gli straordinari sviluppi della cultura. In una forma o nell'altra, tali sviluppi manifestano lo stesso obiettivo di quell'omeostasi automatica alla quale ho alluso in tutto il libro: rispondono al rilevamento di uno squilibrio nei processi vitali, e cercano di correggerlo rispettando i vincoli della biologia umana e dell'ambiente fisico e sociale. L'elaborazione di norme morali e di leggi, insieme allo sviluppo di sistemi giudiziari, rispose al rilevamento di squilibri causati da comportamenti sociali che mettevano in pericolo gli individui e il gruppo. I dispositivi culturali creati per reagire alle deviazioni dall'equilibrio miravano a ripristinarlo tanto negli individui quanto nel gruppo. Il contributo dei sistemi politici ed economici – come pure, per esempio, lo sviluppo della medicina – costituì una risposta ai problemi funzionali che si presentavano nello spazio sociale e che richiedevano di essere corretti all'interno di quello spazio, affinché non compromettessero la regolazione dei processi vitali negli individui costituenti il gruppo. Gli squilibri a cui mi sto riferendo sono definiti da parametri sociali e culturali, e pertanto il loro rilevamento ha luogo al livello più alto della mente cosciente, nella stratosfera del cervello, e non a livello sottocorticale. Io chiamo questo processo generale «omeostasi socioculturale». In termini neurali, l'omeostasi socioculturale comincia a livello corticale – sebbene le reazioni emozionali suscitate dallo squilibrio impegnino immediatamente anche i processi dell'omeostasi fondamentale, a testimonianza, ancora una volta, della regolazio-

ne ibrida dei processi vitali esercitata dal cervello umano. Essa ha luogo a livello alto, poi basso, poi nuovamente alto, con un andamento oscillatorio che spesso flirta con il caos evitandolo d'un soffio. La riflessione cosciente e la pianificazione dell'azione introducono nel controllo dei processi vitali nuove possibilità, al di sopra dell'omeostasi automatica, in quella che è una straordinaria novità della fisiologia. La riflessione cosciente può anche mettere in discussione e modulare l'omeostasi automatica; può anche decidere di fissare un intervallo omeostatico ottimale a un livello superiore rispetto a quello necessario per la sopravvivenza, e più costantemente favorevole a uno stato di benessere: il benessere immaginato, sognato, anticipato può ora motivare attivamente le azioni umane. L'omeostasi socioculturale fu aggiunta come un nuovo strato funzionale della gestione dei processi vitali; l'omeostasi biologica, comunque, rimase.

Armati di riflessione cosciente, organismi evoluti secondo un modello centrato sulla regolazione dei processi vitali e sulla tendenza verso l'equilibrio omeostatico escogitarono forme di conforto per chi soffriva, ricompense per chi aiutava i sofferenti, imposizioni per coloro che causavano danni, norme di comportamento mirate a impedire il male e a promuovere il bene, e un insieme composito di azioni punitive e preventive, di penalizzazioni ed elogi. Fu allora affrontato il problema di come rendere tutta questa saggezza comprensibile, trasmissibile, persuasiva, realizzabile – in una parola, di come farla attecchire –, e venne trovata una soluzione nel racconto di storie, qualcosa cui il cervello ricorre in modo spontaneo e implicito. La narrazione implicita ha creato il nostro sé, e non dovrebbe sorprendere che pervada l'intero tessuto delle società e delle culture umane. Né dovrebbe sorprendere che le narrazioni socioculturali abbiano preso a prestito la loro autorità da esseri mitici che si presumeva avessero più potere e conoscenza degli umani: esseri la cui esistenza spiegava ogni genere

di spiacevole situazione e che erano in grado di offrire aiuto e modificare il futuro. Nei cieli della Mezzaluna Fertile o nel Valhalla del mito, quegli esseri hanno esercitato una grande fascinazione sulla mente umana.

Individui e gruppi, che grazie al loro cervello erano capaci di inventare queste narrazioni o di usarle per migliorare se stessi e le società in cui vivevano, ebbero abbastanza successo perché le caratteristiche di quel cervello fossero favorite dalla selezione sia a livello individuale, sia di gruppo, e perché la loro frequenza aumentasse a ogni generazione.[14]

L'idea che esistano due ampie categorie di omeostasi, quella fondamentale e quella socioculturale, non deve essere interpretata come se la seconda fosse una costruzione puramente «culturale» e la prima puramente «biologica»: biologia e cultura sono profondamente interattive. L'omeostasi socioculturale è plasmata dalle operazioni di molte menti i cui cervelli sono stati costruiti in un certo modo sotto la guida di genomi specifici. Abbiamo prove sempre più numerose del fatto che gli sviluppi culturali possono portare profonde modificazioni nel genoma umano. Si tratta di una prospettiva affascinante: per esempio, l'allevamento di animali da latte e la presenza di latte e derivati nella dieta ha portato alla modificazione della costituzione genetica relativamente alla tolleranza al lattosio.[15]

Io sospetto che alla base dell'emergere delle arti vi sia esattamente lo stesso impulso omeostatico che ha plasmato i miti e le religioni, coadiuvato dalla stessa curiosità intellettuale e dallo stesso impulso a cercare spiegazioni. Se si pensa che Freud considerava le arti come un antidoto per le nevrosi indotte dalla religione, tutto questo può sembrare ironico, ma io non ho nessuna intenzione di fare dell'ironia. Questi due sviluppi poterono

effettivamente avere origine dalle stesse premesse. Se l'esigenza di gestire i processi vitali fu inizialmente una delle ragioni per l'emergere della musica, della danza, della pittura e della scultura, in seguito la capacità di migliorare la comunicazione e di organizzare la vita sociale costituirono altre due importanti ragioni, conferendo alle arti ulteriore resistenza.

Chiudiamo gli occhi per un istante, e immaginiamo gli esseri umani di molto, moltissimo tempo fa, forse addirittura prima della comparsa del linguaggio, ma comunque già dotati di mente e coscienza, già armati di emozioni e sentimenti, già consapevoli di che cosa significhi essere tristi o gioiosi, trovarsi in pericolo o comodi e al sicuro, godere per un guadagno o subire una perdita, provare piacere o dolore. E adesso immaginiamo come avranno espresso quegli stati dei quali la loro mente era consapevole. Forse avranno intonato richiami: per segnalare il pericolo o per salutarsi, per radunarsi, per esprimere gioia o il dolore del lutto. Forse avranno mormorato a bocca chiusa, o addirittura cantato, giacché l'apparato di fonazione umano è uno strumento musicale normalmente in dotazione al corpo umano. Oppure, giacché la cassa toracica è un tamburo naturale, immaginiamo un tambureggiamento, come dispositivo per concentrare la mente, o anche come strumento di organizzazione sociale – un rullo di tamburo per organizzarsi, un rullo di tamburo per chiamare alle armi. Oppure immaginiamo di soffiare in un flauto primitivo ricavato da un osso: ecco uno strumento di incantesimo, seduzione, consolazione, gioiosa allegria. Non era ancora Mozart, e certo non era *Tristano e Isotta*, ma la via era stata tracciata. Sogniamo un altro po'.

Quando arti come la musica, la danza e la pittura erano agli esordi, probabilmente gli esseri umani intendevano servirsene per comunicare ad altri informazioni su minacce e opportunità, sulla propria tristezza o la propria gioia e sulla forma da dare al comportamento sociale. Parallelamente alla comunicazione, tuttavia, le arti

avranno anche prodotto una compensazione omeostatica. Se non l'avessero fatto, si sarebbero mai affermate? Tutto questo accadeva anche prima di una meravigliosa scoperta: e cioè che quando gli esseri umani riuscivano a pronunciare parole e le univano formando frasi, non tutti i suoni erano uguali. Essi avevano accenti naturali, e gli accenti potevano avere rapporti particolari nel tempo: creare dei ritmi, e certi ritmi avranno generato piacere. A quel punto poté nascere la poesia, e la tecnica poté infine alimentare la prassi della musica e della danza.

L'emergere delle arti fu possibile solo dopo che il cervello ebbe acquisito certe caratteristiche mentali che con ogni probabilità si erano affermate nell'arco di un lungo periodo evolutivo, ancora una volta durante il Pleistocene. Vi sono molti esempi di tali aspetti: fra gli altri, la reazione emotiva di piacere nei confronti di certe forme e di certi pigmenti, presenti in oggetti naturali ma applicabili anche a oggetti fabbricati dall'uomo e utilizzabili per decorare il corpo; la reazione piacevole a certe caratteristiche del suono e a certi tipi di organizzazione dei suoni in rapporto al timbro, al ritmo, come pure alle diverse tonalità e alle loro relazioni; ancora, la reazione emotiva a certi tipi di organizzazione spaziale e ai paesaggi che comprendono panorami aperti e sono in prossimità di acqua e vegetazione.[16]

Può darsi che l'arte sia iniziata come dispositivo omeostatico a beneficio dell'artista e del ricevente, e anche come mezzo di comunicazione. Alla fine – sia da parte dell'artista, sia da parte del pubblico – gli usi si fecero alquanto vari. L'arte divenne un mezzo privilegiato per trattare informazione fattuale ed emozionale ritenuta importante per gli individui e la società, una funzione consolidata nelle prime forme di poesia epica, teatro e scultura. L'arte divenne anche un mezzo per indurre emozioni e sentimenti in grado di arricchire chi ne fruiva: qualcosa in cui, nel tempo, la musica ha dimostrato di eccellere. Fatto non meno importante, l'arte divenne un modo per esplorare la propria mente e quella degli

altri, un mezzo per provare e riprovare specifici aspetti della vita, e per esercitare il giudizio e l'azione morali. Da ultimo, le arti – poiché hanno radici profonde nella biologia e nel corpo degli esseri umani, ma possono anche elevarli alle più alte vette del pensiero e del sentimento – divennero un modo per ottenere il perfezionamento omeostatico, perfezionamento che gli esseri umani finirono per idealizzare e che desideravano raggiungere: la controparte biologica di una dimensione spirituale nelle questioni umane.

In breve, le arti si affermarono nell'evoluzione perché avevano un valore in termini di sopravvivenza e contribuivano allo sviluppo del concetto di benessere. Erano utili per cementare i gruppi e per promuovere l'organizzazione sociale; contribuivano alla comunicazione; compensavano gli squilibri causati da emozioni quali la paura, la rabbia, il desiderio e il dolore; e probabilmente, come indicano Chauvet e Lascaux, inaugurarono il lungo processo di affermazione delle registrazioni esterne della vita culturale.

È stato ipotizzato che l'arte sia sopravvissuta perché rendeva gli artisti più attraenti come partner sessuali, assicurando loro un maggior successo; basta pensare a Picasso per sorridere e convenirne. Probabilmente però le arti si sarebbero affermate anche solo sulla base del loro valore terapeutico.

Di fronte alla sofferenza umana, alla felicità mai raggiunta e all'innocenza perduta, le arti erano una compensazione inadeguata; nondimeno, erano e restano una compensazione, un modo per controbilanciare le calamità naturali e il male compiuto dagli esseri umani: esse sono uno dei doni straordinari offertoci dalla coscienza.

E qual è il più grande di quei doni? Forse la capacità di navigare nel futuro, solcando i mari della nostra immaginazione, guidando il vascello del sé in un porto van-

taggioso e sicuro. Questo dono più grande di tutti gli altri dipende ancora una volta dall'intersezione tra il sé e la memoria. La memoria, temperata dai sentimenti personali, è ciò che consente agli esseri umani non solo di immaginare il benessere – sia quello individuale, sia quello collettivo di un'intera società –, ma anche di inventare il modo e i mezzi per ottenerlo e amplificarlo. È la memoria che, senza sosta, colloca il sé in un fugace qui e ora, fra un passato vissuto fino in fondo e un futuro anticipato, costantemente schiacciato tra i molti ieri già vissuti e i domani che sono ancora soltanto una mera possibilità. Il futuro, da un orizzonte lontano ed evanescente, ci trascina in avanti, e ci dà la volontà di continuare il nostro viaggio nel *presente*. Forse era questo che intendeva T.S. Eliot quando scrisse: «Il tempo passato e il tempo futuro / ciò che poteva essere e ciò che è stato / tendono a un solo fine, che è sempre presente».[17]

APPENDICE

L'ARCHITETTURA DEL CERVELLO

Quando si osservano immagini tridimensionali del cervello umano, ci si trova di fronte a un'architettura evidente, che si coglie anche a occhio nudo. Se si passa da un cervello all'altro, lo schema generale è simile, e certe componenti si presentano nella stessa posizione in tutti i cervelli. I loro rapporti reciproci ricordano quelli esistenti fra gli elementi del nostro volto: occhi, naso, bocca. La loro forma e le loro dimensioni esatte presentano qualche differenza in ciascun individuo, ma l'intervallo di variazione è limitato: non esistono volti umani in cui gli occhi siano quadrati o in cui un occhio sia più grande del naso o della bocca; in linea di massima, poi, la simmetria è rispettata e la posizione relativa degli elementi è soggetta a vincoli simili. Proprio come la faccia, anche il cervello di individui diversi presenta una somiglianza estrema per quanto riguarda le regole grammaticali che stabiliscono la disposizione nello spazio delle varie parti. Nondimeno, i cervelli sono assolutamente individuali: ciascuno di essi è unico.

Vi è tuttavia un altro aspetto dell'architettura cerebrale, che è attinente alle idee espresse in questo libro ed è invisibile a occhio nudo. Sotto la superficie, esso consiste in un enorme intreccio di cavi costituiti da *assoni*, le fibre che connettono fra loro i neuroni. Nel cervello vi sono miliardi di neuroni (circa 10^{11}) i quali stabiliscono milioni di miliardi di connessioni reciproche (circa 10^{15}). Ciò nonostante, le connessioni

sono realizzate seguendo dei *modelli*; non tutti i neuroni sono connessi a tutti gli altri; anzi, le loro reti sono altamente selettive. Viste da lontano, appaiono come uno schema elettrico, o molti schemi, a seconda del settore del cervello che si sta esaminando.

La comprensione di questi schemi è una via per capire quello che il cervello fa, e come lo fa. Non è un compito facile, però: lo schema infatti va incontro a considerevoli modificazioni sia durante lo sviluppo, sia dopo. Noi nasciamo con certi modelli di connessione, realizzati sotto il controllo dei geni. Già *in utero*, queste connessioni subiscono l'influenza di diversi fattori ambientali. Dopo la nascita, le esperienze individuali, che hanno luogo in contesti ambientali unici, si mettono all'opera sulle connessioni originali potandole, rafforzandone alcune e indebolendone altre, rendendo ora più spessi ora più sottili i cavi della rete, il tutto sotto l'influenza delle nostre attività. L'apprendimento e la creazione di ricordi non sono altro che il processo grazie al quale gli schemi di connessione del nostro cervello individuale sono cesellati, modellati, plasmati, costruiti e ricostruiti. Questo processo, che comincia alla nascita, continua finché la morte non ci strappa alla vita, o anche un po' prima, se a interromperlo interviene la malattia di Alzheimer.

Come possiamo scoprire il piano che sta alla base degli schemi di connessione? Fino a pochissimo tempo fa, la ricerca su questo tema richiedeva l'uso di campioni di tessuto cerebrale, in larga misura materiale *post mortem* ottenuto da esseri umani o da animali sperimentali. I campioni venivano fissati e colorati in modo riconoscibile; sezioni molto sottili del tessuto potevano quindi essere analizzate al microscopio. Nel campo della neuroanatomia sperimentale, questi studi vantano una nobile tradizione e ci hanno insegnato gran parte di ciò che sappiamo sulle connessioni cerebrali. La nostra conoscenza della neuroanatomia, però, rimane incompleta – in modo imbarazzante – e quindi vi è l'esigenza urgente di proseguire quegli studi, avvalendosi dei considerevoli progressi compiuti nel frattempo sia nel campo dei coloranti sia per quanto riguarda la potenza dei microscopi.

Recentemente, l'impiego dei metodi di risonanza magnetica ha aperto nuove possibilità: metodi non invasivi come l'*imaging* di diffusione ci stanno consentendo di dare un pri-

mo sguardo alle reti delle connessioni negli esseri umani *in vivo*. Sebbene ancora lontane dall'essere soddisfacenti, queste tecniche promettono rivelazioni affascinanti.

Come fanno i miliardi di neuroni presenti all'interno di un cervello umano, insieme ai milioni di miliardi di loro sinapsi, a produrre non solo le azioni che costituiscono i comportamenti, ma anche la mente, della quale ciascun proprietario può avere coscienza e da cui può avere origine la cultura? Affermare che questo enorme numero di neuroni e sinapsi esegua il lavoro grazie a un'estesa interattività e alla complessità che ne deriva non è una buona risposta: l'interattività e la complessità devono sicuramente essere presenti, ma non sono amorfe. Derivano invece dai vari tipi di organizzazione dei circuiti locali e dai modi, ancor più vari, con cui tali circuiti creano regioni e con cui queste ultime poi si associano, dando luogo a sistemi. Le modalità con le quali ogni regione viene costruita internamente ne determinano la funzione. Anche la localizzazione di una regione nell'architettura complessiva ha la sua importanza: infatti la sua collocazione nel piano generale determina quali siano i suoi partner all'interno del sistema; in altre parole, determina quali regioni le parlino, e a quali regioni essa risponda. A rendere le cose ancor più complicate, è vero anche l'opposto: in una certa misura, i partner con cui una regione interagisce ne determinano la futura localizzazione. Prima di procedere oltre, però, dovremmo descrivere brevemente i materiali usati per costruire l'architettura cerebrale.

Materiali da costruzione: i mattoni e la malta

Il cervello – il cervello capace di costruire la mente – è costituito di tessuto nervoso, il quale, come ogni altro tessuto vivente, è formato da cellule. Il tipo principale di cellula cerebrale è il *neurone*, il quale, per le ragioni cui ho fatto cenno nei primi tre capitoli, ha proprietà distintive nell'universo della biologia. I neuroni e i loro assoni sono inclusi – forse sarebbe più appropriato dire *sospesi* – all'interno di una impalcatura costituita da un altro tipo di cellula cerebrale: la *cellula gliale*. Oltre a offrire ai neuroni un supporto fisico, le cellule gliali

forniscono loro anche parte del necessario nutrimento. I neuroni non possono sopravvivere senza le cellule gliali; per quanto riguarda il comportamento e la mente, però, tutto indica che le unità cerebrali fondamentali siano i neuroni.

Quando si servono dei loro assoni per inviare messaggi alle cellule muscolari, i neuroni possono produrre i movimenti; e se si attivano all'interno di reti molto complesse, nelle regioni cerebrali che creano le mappe, il risultato è la formazione di immagini, la principale moneta di scambio quando si tratta di attività mentale. Per quel che ne sappiamo – anche se il loro pieno contributo alla funzione dei neuroni non è stato chiarito del tutto –, le cellule gliali non fanno nulla del genere. Esse hanno anche qualcosa di sinistro, poiché sono all'origine dei tumori cerebrali più letali, i gliomi, per i quali a tutt'oggi non esiste cura; come se non bastasse, per ragioni del tutto oscure, l'incidenza dei gliomi sta aumentando in tutto il mondo, a differenza di quanto si osserva per quasi tutti gli altri tumori maligni. Altre cellule, comunemente origine di tumori cerebrali, sono quelle delle meningi, le membrane che ricoprono il tessuto cerebrale come una pelle. I meningiomi tendono a essere benigni anche se, a causa della loro localizzazione e della crescita fuori controllo, possono compromettere in modo serio la funzione cerebrale, e sono tutt'altro che innocui.

Ogni neurone presenta tre elementi anatomici principali: 1) il *corpo cellulare*, che è la centrale energetica della cellula e comprende il nucleo e gli organuli, per esempio i mitocondri (il genoma del neurone, cioè l'insieme dei geni che lo governano, è localizzato nel nucleo; il DNA, tuttavia, si trova anche all'interno dei mitocondri); 2) l'*assone*, ovvero la fibra principale che emerge dal corpo cellulare e conduce i segnali in uscita; e 3) le fibre, note come *dendriti*, che si diramano dal corpo cellulare, simili alle corna di un cervo, e che conducono i segnali in entrata. I neuroni sono connessi gli uni agli altri a livello di un'area di confine denominata *sinapsi*; in moltissime sinapsi l'assone di un neurone stabilisce un contatto chimico con i dendriti di un altro neurone.

I neuroni possono essere attivi o inattivi (cioè possono scaricare o non scaricare): in altre parole, possono trovarsi in sta-

to di *on* o di *off*. La scarica consiste nella produzione di un segnale elettrochimico che attraversa la zona di confine a livello della sinapsi e – se in possesso dei requisiti necessari – passa a un secondo neurone e lo induce a scaricare a sua volta. Il segnale elettrochimico viaggia dal corpo cellulare verso l'assone. Il confine sinaptico è localizzato fra il terminale di un assone e l'inizio di un altro neurone, in genere un dendrite. Questa descrizione standard conosce numerose variazioni ed eccezioni di minore entità, senza contare che i diversi tipi di neuroni variano per forma e dimensioni; tuttavia, in generale, lo schema è valido. Ogni neurone è così piccolo che per osservarlo occorre il massimo ingrandimento del microscopio; quanto alle sinapsi, per vederle occorre un microscopio ancora più potente. La piccolezza, d'altra parte, è relativa: sta tutta nell'occhio dell'osservatore, che è aiutato dagli strumenti. Rispetto alle molecole di cui sono costituiti, i neuroni sono creature gigantesche.

Quando i neuroni «scaricano», la corrente elettrica nota come «potenziale d'azione» si propaga lungo l'assone in senso centrifugo rispetto al corpo cellulare. Il processo è velocissimo: ha luogo nell'ordine di pochi millisecondi, il che dovrebbe dare un'idea della straordinaria diversità della scala temporale su cui operano i processi cerebrali e quelli mentali. Noi abbiamo bisogno di *centinaia* di millisecondi per essere coscienti di un disegno messo davanti ai nostri occhi; quanto ai sentimenti, li sperimentiamo su una scala temporale che è nell'ordine dei *secondi* (*migliaia* di millisecondi) e dei *minuti*.

Quando la corrente di scarica arriva a una sinapsi, innesca la liberazione di sostanze chimiche note come neurotrasmettitori (il glutammato ne è un buon esempio) nello spazio fra le due cellule, detto «fessura sinaptica». L'interazione cooperativa di molti neuroni con sinapsi adiacenti, i quali liberano (o non liberano) il proprio trasmettitore, determina se il neurone postsinaptico scaricherà oppure no: in altre parole, se esso a sua volta produrrà (o non produrrà) un proprio potenziale d'azione, la qual cosa porterà poi alla liberazione del suo neurotrasmettitore, e così via.

Le sinapsi possono essere forti o deboli: la forza sinaptica determina se, e con quanta facilità, gli impulsi continueranno a viaggiare nel neurone postsinaptico. Nel caso di un neuro-

ne eccitatorio, una sinapsi forte facilita il passaggio dell'impulso, mentre una sinapsi debole lo ostacola o lo blocca.

Un aspetto critico dell'apprendimento è il rafforzamento di una sinapsi: la forza si traduce in facilità di scarica e quindi in facilità di attivazione dei neuroni che si trovano a valle della sinapsi stessa. La memoria dipende da queste operazioni. La nostra comprensione della base neurale della memoria, comprensione che si spinge fino al livello cellulare, può esser fatta risalire alle fondamentali idee di Donald Hebb, il quale, a metà del Novecento, fu il primo a sollevare la possibilità che l'apprendimento dipendesse dal rafforzamento delle sinapsi e dalla facilitazione della scarica dei neuroni a valle della sinapsi stessa. Egli lo fece su basi puramente teoriche, ma in seguito la sua ipotesi si dimostrò corretta. Negli ultimi decenni, la nostra comprensione dell'apprendimento è diventata sempre più profonda, fino a spingersi al livello dei meccanismi molecolari e dell'espressione genica.

In media, ogni cellula nervosa dialoga con un numero relativamente esiguo di altri neuroni: non con la maggior parte di essi, e mai con tutti. In effetti, molti neuroni entrano in contatto solamente con cellule nervose che si trovano nelle loro immediate vicinanze, all'interno di circuiti relativamente locali; altri, anche se il loro assone si estende per diversi centimetri, stabiliscono contatti con un piccolo numero di neuroni. Nondimeno, a seconda della sua localizzazione nell'architettura generale, il neurone può avere più o meno contatti.

I miliardi di neuroni presenti nel cervello sono organizzati in circuiti, alcuni dei quali sono piccolissimi: meccanismi autenticamente locali, invisibili a occhio nudo. Quando molti microcircuiti si uniscono, tuttavia, formano una regione dotata di una particolare architettura.

L'architettura regionale fondamentale può essere di due tipi: il *nucleo* e la *corteccia.* In un'area di corteccia cerebrale, i neuroni sono disposti in lamine bidimensionali stratificate le une sulle altre. Molti di questi strati presentano una fine organizzazione topografica: una situazione ideale per la creazione di mappe dettagliate. In un nucleo (un gruppo di neuroni, da non confondersi con il nucleo cellulare all'interno di ciascun neurone), le singole cellule nervose sono solitamente disposte come chicchi d'uva in una ciotola, anche se esiste qualche parziale eccezione a questa regola. I nuclei genicolati e i nu-

clei collicolari, per esempio, presentano lamine concentriche stratificate. Diversi nuclei hanno anche un'organizzazione topografica, indicativa della loro capacità di generare mappe grossolane.

I nuclei contengono «know-how». I loro circuiti incorporano conoscenza su come agire o che cosa fare quando sono attivati da particolari messaggi. A causa di questo know-how disposizionale, nelle specie dotate di cervelli più piccoli, con una corteccia poco sviluppata o assente e con una capacità limitata di produrre mappe, l'attività dei nuclei è indispensabile per la gestione dei processi vitali. D'altra parte, i nuclei sono indispensabili anche – allo stesso scopo – in cervelli come il nostro, dove sono responsabili della gestione di processi fondamentali quali il metabolismo, le risposte viscerali, le emozioni, l'attività sessuale, i sentimenti *e* alcuni aspetti della coscienza. Il controllo del sistema endocrino e di quello immunitario dipende dai nuclei, e altrettanto vale per la vita affettiva. Negli esseri umani, però, buona parte del funzionamento dei nuclei è sotto l'influenza della mente, e ciò significa che in larga misura, anche se non interamente, esso si trova sotto l'influenza della corteccia cerebrale.

Un aspetto importante è che le regioni distinte definite dai nuclei e dalle cortecce sono interconnesse. A loro volta, esse formano circuiti su scala sempre più ampia. Numerose aree di corteccia cerebrale sono connesse fra loro in modo interattivo, e ciascuna è connessa anche a nuclei sottocorticali. A volte la corteccia riceve segnali da un nucleo, altre volte invia a esso i propri segnali: in alcuni casi è al contempo emittente e ricevente. Le interazioni sono particolarmente significative nel caso della miriade di nuclei del talamo (nei cui confronti le connessioni con la corteccia tendono a essere a doppio senso) e dei gangli basali (riguardo ai quali le connessioni corticali tendono invece a essere discendenti o ascendenti, ma non a doppio senso).

Riassumendo, i circuiti neuronali costituiscono regioni corticali (quando sono organizzati in lamine sovrapposte come gli strati di una torta), oppure formano nuclei (se sono raggruppati in strutture non stratificate; si notino, tuttavia, le eccezioni menzionate in precedenza). Sia le regioni corticali, sia i nuclei sono interconnessi mediante «proiezioni» assoniche a formare *sistemi* e, a livelli di complessità gradualmente

crescenti, *sistemi di sistemi.* Quando i fasci di proiezioni assoniche sono sufficientemente grandi da essere visibili a occhio nudo, sono chiamati «vie». In termini di scala, tutti i neuroni e i circuiti locali sono microscopici, mentre tutte le regioni corticali, la maggior parte dei nuclei e tutti i sistemi di sistemi sono macroscopici.

Se i neuroni sono i mattoni, qual è l'equivalente cerebrale della malta? Molto semplicemente, si tratta del gran numero di *cellule gliali* già presentate come l'impalcatura che ovunque nel cervello offre sostegno ai neuroni. Le guaine mieliniche che avvolgono gli assoni a conduzione veloce sono anch'esse di origine gliale; forniscono protezione e isolamento agli assoni, conformandosi ancora una volta al ruolo della malta. Le cellule gliali sono molto diverse dai neuroni, in quanto non hanno assoni e dendriti e non trasmettono segnali su lunghe distanze. In altre parole, le cellule gliali non hanno a che fare con le altre cellule dell'organismo, e il loro ruolo non è quello di regolarne la funzione o di rappresentarle: il ruolo imitativo dei neuroni non si applica alle cellule gliali. D'altra parte, la loro funzione non si limita a quella di strutture di sostegno delle cellule nervose. Esse intervengono nella nutrizione dei neuroni, per esempio trattenendo e liberando sostanze energetiche e, come ho accennato in precedenza, può darsi che in realtà la loro influenza si spinga anche a un livello più profondo.

Ulteriori considerazioni in merito all'architettura su grande scala

Il sistema nervoso è costituito da una divisione centrale e una divisione periferica. L'organo principale del *sistema nervoso centrale* è il *cerebro,* costituito dai due *emisferi cerebrali,* destro e sinistro, uniti mediante il *corpo calloso.* C'è una storiella secondo la quale la natura avrebbe inventato il corpo calloso per impedire che gli emisferi cerebrali cedessero sotto il loro stesso peso. Noi però sappiamo che in realtà questo spesso fascio di fibre nervose connette le due metà destra e sinistra del cervello in entrambe le direzioni, ed esegue un importante ruolo integrativo.

Gli emisferi cerebrali sono ricoperti dalla corteccia, organizzata in lobi (*occipitali, parietali, temporali e frontali*) e comprendente una regione nota come *corteccia del cingolo,* visibile

solo sulla superficie interna (mediale). Due regioni della corteccia cerebrale assolutamente non visibili quando si ispeziona la superficie del cervello sono la *corteccia dell'insula*, sepolta sotto le regioni frontali e parietali; e l'*ippocampo*, una particolare struttura corticale nascosta nel lobo temporale.

Al di sotto della corteccia cerebrale, il sistema nervoso centrale include anche aggregazioni di nuclei localizzati in profondità, come i *gangli basali*, il *prosencefalo basale*, l'*amigdala* e il *diencefalo* (comprendente a sua volta il *talamo* e l'*ipotalamo*). Il cerebro è unito al midollo spinale mediante il *tronco encefalico*, dorsalmente al quale è situato il *cervelletto* con i suoi due emisferi. Sebbene di solito l'ipotalamo sia menzionato insieme al talamo, con il quale costituisce il diencefalo, da un punto di vista funzionale esso è più vicino al tronco encefalico, con il quale partecipa agli aspetti più importanti della regolazione dei processi vitali.

Il sistema nervoso centrale è connesso a ogni punto del corpo mediante fasci di assoni (noti come nervi), che hanno origine nei corpi cellulari dei neuroni. L'insieme di tutti i nervi che connettono il sistema nervoso centrale con la periferia (e viceversa) costituisce il *sistema nervoso periferico*. I nervi trasmettono impulsi dal cervello al corpo e dal corpo al cervello. Uno dei settori più antichi e importanti del sistema nervoso periferico è il *sistema nervoso autonomo*, così chiamato perché opera in larga misura al di fuori del controllo della volontà. Esso comprende i sistemi *simpatico*, *parasimpatico* ed *enterico*, e ha un ruolo cruciale nella regolazione dei processi vitali e nella genesi di emozioni e sentimenti. Il cervello e il corpo sono interconnessi anche mediante sostanze chimiche come gli ormoni, che viaggiano nel sangue circolante. Le sostanze dirette dal cervello al corpo hanno origine in nuclei come quelli dell'ipotalamo; le molecole, però, viaggiano anche in direzione opposta – in tal caso influenzano direttamente i neuroni in siti come l'area postrema, a livello dei quali la barriera ematoencefalica non è presente. (La barriera ematoencefalica è uno scudo protettivo nei confronti di certe sostanze chimiche che circolano nel sangue). L'area postrema si trova nel tronco encefalico, molto vicina a importanti strutture che, come il nucleo parabrachiale e i nuclei periacqueduttali, sono deputate alla regolazione dei processi vitali.

Se si taglia con un qualsiasi orientamento una delle struttu-

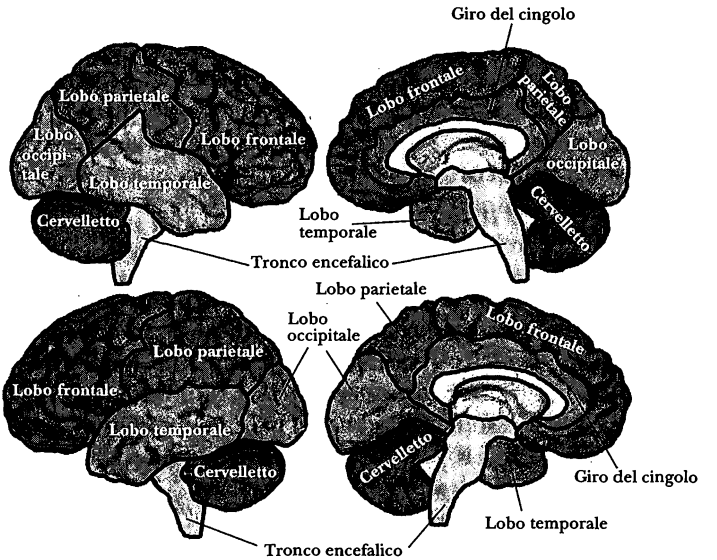


Figura A.1 Macroarchitettura del cervello umano in una ricostruzione tridimensionale ottenuta mediante risonanza magnetica. A sinistra sono mostrate le prospettive laterali (esterne) degli emisferi cerebrali destro (in alto) e sinistro (in basso). A destra sono invece mostrate le prospettive mediali (interne). Nei disegni a destra, la struttura bianca ricurva corrisponde al corpo calloso.

re del sistema nervoso centrale e si osserva la superficie di taglio, si nota una differenza fra aree più scure e aree più chiare. Le parti scure sono note come *sostanza grigia* (sebbene siano più marroni che grigie), mentre le parti chiare sono note come *sostanza bianca* (in realtà più giallastre che bianche). La sostanza grigia deve il suo colore più scuro all'affollamento dei corpi cellulari di numerosi neuroni; la sostanza bianca, invece, deve il suo colore più chiaro alla presenza delle guaine che isolano gli assoni emergenti dai corpi cellulari localizzati nella sostanza grigia. Come ho già detto, il materiale isolante è costituito da mielina e accelera la conduzione della corrente elettrica lungo gli assoni. L'isolamento mielinico e la conseguente rapida conduzione dei segnali sono aspetti caratteristici degli assoni evolutivamente più moderni. Le fibre amieliniche sono più lente e risalgono a tempi più antichi.

La sostanza grigia può essere di due varietà. In linea di mas-

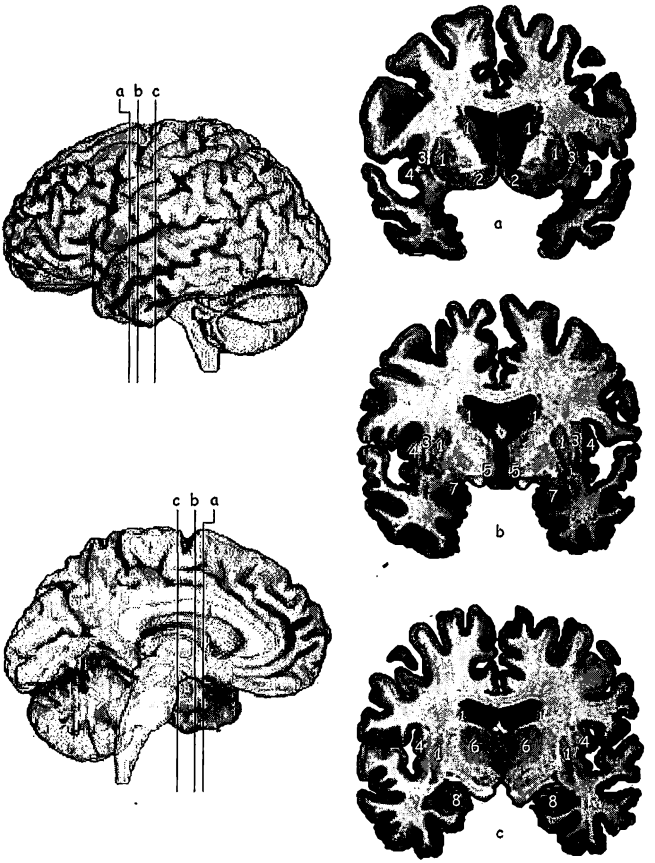


Figura A.2 I disegni a sinistra mostrano una ricostruzione tridimensionale del cervello umano da una prospettiva laterale (in alto) e mediale (in basso).

I disegni a destra mostrano tre sezioni del cervello, praticate lungo i piani rappresentati dalle linee *a*, *b* e *c*. Le sezioni rivelano diverse strutture cerebrali importanti localizzate sotto la superficie: 1 = gangli basali; 2 = prosencefalo basale; 3 = claustro; 4 = corteccia dell'insula; 5 = ipotalamo; 6 = talamo; 7 = amigdala; 8 = ippocampo. La corteccia cerebrale copre l'intera superficie degli emisferi cerebrali, compresi i solchi, spingendosi in profondità. Nelle sezioni, la corteccia cerebrale è il bordo scuro facilmente distinguibile dalla sostanza bianca più chiara sottostante. Le aree nere al centro delle sezioni corrispondono ai ventricoli laterali.

sima, quella stratificata si trova nella *corteccia cerebrale* (che avvolge gli emisferi cerebrali) e nella *corteccia cerebellare* (che avvolge il cervelletto). La varietà non stratificata, invece, costituisce i nuclei, dei quali sono stati già citati gli esempi principali: i *gangli basali* (localizzati in profondità, in ciascun emisfero cerebrale e costituiti di tre grandi nuclei: il caudato, il putamen e il pallido); l'*amigdala*, un singolo ammasso di considerevoli dimensioni, localizzato in profondità, in ciascun lobo temporale; e infine diversi aggregati di nuclei più piccoli, che formano il *talamo*, l'*ipotalamo* e la sostanza grigia del *tronco encefalico*.

La corteccia cerebrale è il mantello che riveste il cerebro, coprendo le superfici di ciascun emisfero cerebrale comprese quelle localizzate in profondità, nelle fessure e nei solchi, cioè in tutte quelle pieghe che conferiscono al cervello il suo caratteristico aspetto a gheriglio di noce. Lo spessore della corteccia è di circa tre millimetri, e i suoi strati sono paralleli l'uno all'altro e alla superficie del cervello. La parte evolutivamente moderna della corteccia cerebrale è detta *neocorteccia*. Le sue principali divisioni sono designate come lobi: frontale, temporale, parietale e occipitale. Tutte le altre strutture di sostanza grigia (i vari nuclei menzionati in precedenza e il cervelletto) sono sottocorticali.

Nel testo faccio spesso riferimento alle *cortecce sensoriali di ordine inferiore* o alle *cortecce associative* o anche alle *cortecce associative di ordine superiore*. La qualificazione «di ordine inferiore» si riferisce alla posizione occupata da una particolare regione lungo una catena di elaborazione sensoriale. Le cortecce sensoriali di ordine inferiore sono quelle localizzate nei pressi del punto in cui le vie sensoriali periferiche entrano nella corteccia cerebrale: per esempio, il punto di ingresso dei segnali visivi, uditivi o tattili. Le regioni di ordine inferiore tendono a essere organizzate concentricamente e hanno un ruolo fondamentale nella produzione di mappe dettagliate, che costruiscono facendo uso delle afferenze portate dalle vie sensoriali.

Le cortecce associative, come implica il loro nome, mettono in relazione i segnali emessi dalle cortecce di ordine inferiore. Localizzate nella corteccia cerebrale ovunque non vi siano cortecce sensoriali di ordine inferiore o cortecce motrici, le cortecce associative sono organizzate gerarchicamente;

di solito, quelle che occupano le posizioni al vertice della catena di segnalazione sono denominate «cortecce associative di ordine superiore». Queste ultime sono esemplificate dalle cortecce prefrontali e dalle cortecce temporali anteriori.

Le varie regioni della corteccia cerebrale sono tradizionalmente identificate mediante numeri corrispondenti alla caratteristica organizzazione architettonica dei neuroni, nota come «citoarchitettonica». Il sistema migliore per la numerazione delle regioni fu proposto un secolo fa da Brodmann, e ancora oggi rimane uno strumento utile. I numeri di Brodmann non hanno nulla a che fare con le dimensioni dell'area o con la sua importanza funzionale.

L'importanza della localizzazione

La struttura anatomica interna di una regione cerebrale è importante nel determinarne la funzione; un altro fattore importante è il luogo in cui essa è situata all'interno del cervello. In larga misura, la struttura anatomica interna e la collocazione nel volume cerebrale complessivo sono conseguenze dell'evoluzione, tuttavia sono influenzate anche dallo sviluppo individuale. L'esperienza individuale modella i circuiti e sebbene la sua influenza sia marcata soprattutto a livello microscopico, si ripercuote inevitabilmente anche a livello macroanatomico.

L'origine evolutiva dei nuclei è antica: occorre tornare indietro, nella storia della vita, a un tempo in cui i cervelli interi erano poco più di catene di gangli simili ai grani di un rosario. Essenzialmente, un ganglio è un singolo nucleo prima che, nel corso dell'evoluzione, esso sia incorporato in una massa cerebrale. Il cervello dei nematodi che ho menzionato nel capitolo 2 consiste di una catena di gangli.

La localizzazione dei nuclei all'interno del volume cerebrale è alquanto profonda, sempre al di sotto del mantello corticale. Essi si trovano nel tronco encefalico, nell'ipotalamo e nel talamo, nei gangli basali e nel prosencefalo basale (la cui estensione comprende anche l'insieme dei nuclei noti come amigdale). Banditi come sono dai principali territori corticali, essi sono comunque soggetti a un ordine gerarchico riconducibile all'evoluzione. Quanto più sono antichi, tanto più si trovano vicini alla linea mediana del cervello. E poiché nel

cervello tutto ha una metà destra, una metà sinistra e una linea mediana divisoria, i nuclei molto antichi paiono guardare, dalla loro metà, i nuclei gemelli dall'altra parte della linea mediana. Questo accade, per esempio, nel caso dei nuclei del tronco encefalico, che sono di importanza cruciale sia per la regolazione dei processi vitali, sia per la coscienza. Nel caso di nuclei un po' più recenti – per esempio l'amigdala –, i due elementi, destro e sinistro, sono più indipendenti e chiaramente separati gli uni dagli altri.

Da un punto di vista evolutivo, le cortecce cerebrali sono più recenti dei nuclei e sono tutte caratterizzate dalla struttura bidimensionale laminare che conferisce ad alcune di esse la capacità di produrre mappe dettagliate. In una corteccia, però, il numero di strati varia da tre soltanto (nel caso delle cortecce più antiche) a sei (per quelle più moderne). La complessità dei circuiti sia all'interno degli strati, sia fra strati diversi, varia anch'essa. Inoltre, anche la localizzazione complessiva nell'intero volume del cervello è significativa da un punto di vista funzionale. In generale, le cortecce molto moderne si trovano in prossimità del punto in cui le principali vie sensoriali – per esempio uditive, visive e somatosensoriali – penetrano nella corteccia cerebrale, e sono quindi legate all'elaborazione sensoriale e alla produzione di mappe. In altre parole, appartengono al gruppo delle « cortecce sensoriali di ordine inferiore ».

Anche le cortecce motrici possono essere di età diverse: alcune sono piccole e molto antiche, ancora una volta localizzate nei pressi della linea mediana, per esempio nel cingolo anteriore e nella regione motrice supplementare, chiaramente visibili sulla superficie interna (o mediale) di ciascun emisfero cerebrale. Altre cortecce motrici sono moderne e strutturalmente sofisticate e occupano territori di considerevoli dimensioni sulla superficie esterna (laterale) del cervello.

Il contributo offerto da una data regione al funzionamento generale del cervello dipende in maniera significativa dai suoi partner (chi parla alla regione in questione e chi riceve risposte dalla regione stessa); più specificamente, dipende dalle regioni che proiettano con i loro neuroni alla regione X, modificandone così lo stato, e da quelle che invece ricevono le sue proiezioni, e sono pertanto modificate dai suoi output. Molto dipende inoltre da dove si trova, all'interno della rete,

la regione X. L'eventuale capacità di creare mappe è un altro importante fattore che determina il suo ruolo funzionale.

La mente e il comportamento sono il risultato, istante per istante, delle operazioni di intere galassie di nuclei e di porzioni di corteccia articolate mediante proiezioni neurali convergenti e divergenti. Se le galassie sono bene organizzate e lavorano armoniosamente, il loro possessore compone versi. Altrimenti, è preda della follia.

Le interfacce tra il cervello e il mondo

Al confine fra il cervello e il mondo, si trovano due tipi di strutture neurali, una che punta verso l'*interno*, l'altra verso l'*esterno*. La prima è costituita dai recettori sensoriali localizzati alla periferia del corpo: la retina, la coclea nell'orecchio interno, le terminazioni nervose nella cute, eccetera. Questi recettori non ricevono proiezioni neuronali dall'esterno, almeno non in condizioni naturali, sebbene questa situazione oggi stia cambiando, grazie alla possibilità di stimolarli con input elettrici provenienti da impianti protesici. Invece, i recettori ricevono *stimoli fisici* – luce, vibrazioni, contatto meccanico – e danno inizio a una catena di segnali diretta dal confine del corpo fino all'interno del cervello, attraverso numerosi livelli gerarchici di circuiti neuronali che penetrano profondamente nei territori cerebrali. I segnali, tuttavia, non salgono al cervello come acqua in un sistema idraulico di tubature: a ogni nuova stazione vanno incontro a elaborazione e trasformazione. Inoltre, le stazioni tendono a inviare segnali di ritorno ai siti in cui ha avuto inizio la catena delle proiezioni dirette verso l'interno. È probabile che questi aspetti poco studiati dell'architettura cerebrale abbiano un importante significato per alcuni aspetti della coscienza.

L'altro tipo di confine ha luogo nel punto in cui le proiezioni in uscita dal cervello e dirette *verso l'esterno* hanno termine, e inizia l'ambiente. Le catene di segnali originano all'interno del cervello e finiscono o con la liberazione di sostanze chimiche nell'atmosfera, o con la realizzazione di una connessione con le fibre muscolari: è proprio in questo secondo modo che terminano le principali catene dirette verso l'esterno, consentendo il movimento e la parola. Al di là delle fibre muscolari, c'è il movimento diretto nello spazio. Nei primi

stadi dell'evoluzione, la liberazione di sostanze chimiche a livello del confine rappresentato dalla membrana cellulare o dalla cute aveva funzioni rilevanti nella vita di un organismo: era un'importante modalità d'azione. Negli esseri umani, sebbene la liberazione di feromoni sia fuori di dubbio, questo aspetto rimane poco studiato.

Si può concettualizzare il cervello come una progressiva elaborazione di quello che iniziò come un semplice arco riflesso: il neurone NEU percepisce l'oggetto OB e segnala al neurone ZADIG, il quale proietta alla fibra muscolare MUSC, causando in tal modo un movimento. In seguito, nel corso dell'evoluzione, a questo circuito riflesso venne aggiunto un neurone, interponendolo fra NEU e ZADIG. Si tratta di un interneurone che chiameremo INT, grazie al quale la risposta del neurone ZADIG cessa di essere automatica. Il neurone ZADIG risponde, per esempio, solo se il neurone NEU scarica su di esso tutte le sue munizioni e non se riceve un messaggio più debole; una parte critica della decisione viene lasciata, per così dire, nelle mani dell'interneurone INT.

Nell'evoluzione del cervello, un aspetto fondamentale è consistito nell'aggiunta a ogni livello dei circuiti cerebrali di elementi equivalenti agli interneuroni: in effetti, si tratta di un'enorme quantità di tali equivalenti. Quelli su scala maggiore, localizzati nella corteccia cerebrale, possono essere chiamati *interregioni*: sono inseriti fra altre regioni – come in un sandwich – allo scopo, ovvio e proficuo, di modulare le semplici risposte a stimoli diversi, rendendole meno semplici e meno automatiche.

Lungo la via che portò a una modulazione più sottile e sofisticata, il cervello sviluppò sistemi che mappano gli stimoli in modo così dettagliato da ottenere, quale conseguenza ultima, la produzione di immagini e l'emergere della mente. Alla fine il cervello aggiunse a quelle menti un processo del sé, e ciò permise la creazione di risposte nuove. Negli esseri umani, quando tali menti dotate di coscienza furono organizzate in collettività costituite da esseri simili, divenne infine possibile la creazione delle culture con i loro artefatti esterni. Nell'arco delle generazioni, poi, le culture hanno a loro volta influenzato il funzionamento e infine anche l'evoluzione del cervello umano.

Il cervello è un sistema di sistemi, ognuno dei quali è costituito da regioni corticali e nuclei sottocorticali, macroscopici

ma di piccole dimensioni, interconnessi in modo complicato e costituiti a loro volta da circuiti locali microscopici, fatti di neuroni, i quali sono tutti connessi mediante sinapsi.

Il comportamento dei neuroni dipende dal raggruppamento locale al quale appartengono; i sistemi che essi costituiscono dipendono dal modo in cui i raggruppamenti locali influenzano altri raggruppamenti all'interno di un'architettura interconnessa; infine il contributo (quale che sia) del singolo raggruppamento alla funzione del suo sistema di appartenenza dipende dalla collocazione del raggruppamento stesso nel sistema.

Una nota sull'ipotesi dell'equivalenza mente-cervello

La prospettiva adottata in questo libro contiene un'ipotesi che non solo non è universalmente accettata, ma non riscuote nemmeno universali simpatie: l'idea che gli stati mentali e gli stati cerebrali siano essenzialmente equivalenti. Le ragioni della riluttanza ad avallare tale ipotesi meritano la nostra attenzione.

Nel mondo fisico, del quale il cervello fa inequivocabilmente parte, l'equivalenza e l'identità sono definite da attributi fisici come la massa, le dimensioni, il movimento, la carica elettrica, eccetera. Chi respinge l'identità fra gli stati fisici e gli stati mentali osserva che, se è vero che una mappa cerebrale corrispondente a un particolare oggetto fisico può essere discussa in termini fisici, sarebbe invece assurdo fare altrettanto con la rispettiva configurazione mentale. La ragione addotta è che finora la scienza non è stata in grado di determinare gli attributi fisici delle configurazioni mentali, e se la scienza non è in grado di farlo, allora ciò che è mentale non può essere identificato con ciò che è fisico. Temo, tuttavia, che questo ragionamento sia probabilmente infondato, e desidero spiegare perché.

In primo luogo, dobbiamo considerare in che modo noi determiniamo che gli stati non mentali sono fisici. Nel caso di oggetti che si trovano nel mondo esterno, procediamo percependoli con le nostre sonde sensoriali periferiche e usando strumenti diversi per eseguire le misurazioni. Nel caso degli eventi mentali, tuttavia, non possiamo fare la stessa cosa. Non perché gli eventi mentali non siano equivalenti a stati neurali,

ma semplicemente perché dato lo scenario in cui hanno luogo – all'interno del cervello – gli stati mentali non sono accessibili alle operazioni di misura. In effetti, gli eventi mentali possono essere percepiti solo da una parte di quello stesso processo che li include, ovvero la mente. Tale situazione di certo è infelice, tuttavia non rivela nulla sulla fisicità o sulla non fisicità della mente; impone però importanti riserve alle intuizioni che possono da essa emergere; pertanto è prudente dubitare della posizione tradizionale, secondo la quale gli stati mentali *non* possono essere equivalenti a stati fisici. È irragionevole appoggiare una tale posizione basandosi esclusivamente su osservazioni introspettive. La prospettiva personale dovrebbe essere usata e goduta per quello che ci offre direttamente: un'esperienza che può essere resa cosciente, e che può contribuire a guidare la nostra vita, purché i suoi consigli siano validati da un'analisi riflessiva approfondita, comprendente l'esame scientifico e condotta offline.

Il fatto che le mappe neurali e le corrispondenti immagini si trovino all'interno del cervello, accessibili solo al suo proprietario, è un ostacolo; d'altra parte, dove mai dovrebbero trovarsi le mappe/immagini se non all'interno di un settore privato e defilato del cervello, giacché è proprio lì che esse si formano? Piuttosto, sarebbe davvero sorprendente scoprirle altrove, visto che l'anatomia del cervello non è fatta per esternalizzarle.

Per adesso, più che una certezza, l'equivalenza degli stati mentali/cerebrali dovrebbe essere considerata alla stregua di un'utile ipotesi. Occorrerà continuare a raccogliere evidenze che la sostengano, e per farlo dovremo avvalerci di un'ulteriore prospettiva, informata dalle evidenze offerte dalla neurobiologia evolutiva unite a quelle fornite dalle neuroscienze.

Probabilmente non mancherà chi metterà in dubbio la necessità di adottare un'ulteriore prospettiva per comprendere gli eventi mentali; vi sono tuttavia buone giustificazioni per invocarla. Il fatto che gli eventi mentali siano *correlati* a quelli cerebrali (cosa che nessuno pone in discussione) e il fatto che questi ultimi abbiano luogo all'interno del cervello, inaccessibili alla misurazione diretta, giustificano un approccio speciale. Inoltre, considerando che gli eventi mentali/cerebrali sono senza dubbio il prodotto di una lunga storia di evoluzione biologica, è logico includere nel loro studio le evidenze

evolutive. Infine, poiché gli eventi cerebrali/mentali sono forse i fenomeni più complessi esistenti in natura, la necessità di trattarli in modo speciale non dovrebbe essere considerata tanto strana.

Anche con l'aiuto di tecniche più potenti di quelle che oggi ci mettono a disposizione le neuroscienze, abbiamo scarse probabilità di riuscire mai a descrivere, in tutta la loro portata, i fenomeni neurali associati a uno stato mentale, quand'anche ne scegliessimo uno semplice. Per adesso, quello che invece è possibile e necessario, è un graduale avvicinamento a livello teorico, sostenuto da nuove evidenze empiriche.

Accettare l'ipotizzata equivalenza mentale/neurale è utile soprattutto quando si affronta lo sconcertante problema della causalità discendente (*downward causality*). Gli stati mentali esercitano effettivamente la loro influenza sul comportamento, come possono facilmente rivelare tutti i tipi di azione eseguiti dal sistema nervoso e dai muscoli che esso comanda. Il problema – qualcuno dirà il mistero – ha a che fare con il modo in cui un fenomeno considerato non fisico, quale è la mente, possa esercitare la sua influenza sul sistema nervoso, che è una realtà molto fisica e che ci spinge all'azione. Una volta che gli stati mentali e gli stati neurali sono considerati come due facce di uno stesso processo, come l'ennesimo Giano pronto a trarci in inganno, la causalità discendente è meno problematica.

D'altro canto, respingere l'equivalenza mente/cervello richiede un assunto problematico, e cioè che per qualche motivo il fatto che i neuroni creino le mappe di oggetti, e che queste siano eventi mentali pienamente formati, sia meno naturale e plausibile di quanto non lo sia, per le altre cellule dell'organismo, creare le forme delle diverse parti del corpo o eseguirne le azioni. Quando le cellule del corpo, inteso in senso stretto, si uniscono in una particolare configurazione secondo un piano, esse costituiscono un oggetto.

La mano è un buon esempio: è fatta di ossa, muscoli, tendini, tessuto connettivo, una rete di vasi sanguigni e un'altra rete di nervi, oltre alla cute costituita da diversi strati, il tutto assemblato secondo uno specifico modello architettonico. Quando un tale oggetto si muove nello spazio, esegue un'azione: per esempio, la mano di qualcuno indica la mia persona. Tanto l'oggetto quanto l'azione sono eventi fisici che han-

no luogo nello spazio e nel tempo. Quando i neuroni organizzati in una lamina bidimensionale sono attivi o inattivi, a seconda degli input che ricevono, creano una configurazione. Quando quest'ultima corrisponde a un oggetto o a un'azione, ecco che costituisce la mappa di qualcos'altro: una mappa di quell'oggetto o di quell'azione. Fondata com'è sull'attività di cellule fisiche, la configurazione è fisica esattamente come gli oggetti o le azioni a cui corrisponde. Essa viene temporaneamente *disegnata*, o *incisa*, nel cervello, dalla sua stessa attività. Per quale motivo i circuiti costituiti dai neuroni cerebrali – purché connessi in modo appropriato, operanti come si suppone debbano operare, e attivati al momento opportuno – non dovrebbero creare, sotto forma di immagine, un qualche tipo di corrispondenza con gli oggetti? Perché le configurazioni risultanti dalla loro attività temporanea dovrebbero necessariamente essere meno fisiche di quanto non lo siano, originariamente, gli oggetti e le azioni corrispondenti?

NOTE

1. Mi accorsi delle perplessità nei confronti della ricerca sulla coscienza verso la fine degli anni Ottanta, quando parlai per la prima volta dell'argomento con Francis Crick. All'epoca Francis stava pensando di mettere da parte i suoi temi preferiti nel campo delle neuroscienze, per concentrare i suoi sforzi sulla coscienza. Io non ero ancora pronto a fare altrettanto: una mossa saggia, considerato l'umore dei tempi. Ricordo che Francis mi chiese, con un'aria particolarmente divertita, se conoscessi la definizione di coscienza formulata da Stuart Sutherland. Gli dissi di no. Sutherland, uno psicologo inglese famoso per i suoi commenti sarcastici e caustici su vari temi e numerosi colleghi, aveva appena pubblicato nel suo *Dictionary of Psychology* una definizione sorprendente che Francis mi lesse a voce alta: «La coscienza è un fenomeno affascinante ma elusivo; è impossibile specificare che cosa sia, che cosa faccia, o perché evolse. Su di essa non è stato scritto nulla che valga la pena di essere letto» (Stuart Sutherland, *International Dictionary of Psychology*, seconda ediz., Continuum, New York, 1996).

Ridemmo di cuore, e prima di considerare i meriti di questo capolavoro di entusiasmo, Francis mi lesse la definizione che Sutherland dava di «amore». La riporto qui, a beneficio del lettore curioso: «Forma di malattia mentale non ancora

riconosciuta da nessuno dei manuali diagnostici di riferimento». Ridemmo ancora di più.

Anche secondo gli standard di allora, l'affermazione di Sutherland era estrema, sebbene cogliesse senza dubbio un atteggiamento molto diffuso: il tempo della ricerca sulla coscienza – espressione con cui tutti effettivamente intendevano la ricerca su come il cervello renda conto della coscienza – non era ancora arrivato. Tale atteggiamento non paralizzò del tutto questo campo di studi ma, a posteriori, fu nocivo: infatti separò artificiosamente il problema della coscienza da quello della mente. Sicuramente diede licenza ai neuroscienziati di continuare a indagare la mente senza doversi confrontare con gli ostacoli posti dallo studio della coscienza. (La cosa sorprendente fu che molti anni dopo conobbi Sutherland e gli raccontai di che cosa mi stavo occupando, in merito alle questioni della mente e del sé. Sembrò apprezzare le mie idee e fu estremamente gentile nei miei confronti).

L'atteggiamento negativo non è stato assolutamente superato. Io rispetto lo scetticismo dei colleghi che insistono su quelle posizioni, d'altra parte l'idea che la spiegazione dell'emergere di menti dotate di coscienza sia fuori dalla portata della nostra attuale intelligenza mi colpisce come molto strana e probabilmente falsa, proprio come l'idea secondo la quale, per risolvere il mistero, dovremmo aspettare un nuovo Darwin o un nuovo Einstein. La stessa intelligenza che, per esempio, può ambiziosamente studiare la storia evolutiva della biologia e scoprire il codice genetico alla base della vita dovrebbe almeno cercare di affrontare il problema della coscienza prima di dichiararsi sconfitta. Darwin, per inciso, non riteneva che la coscienza fosse l'Everest della scienza, e in questo sono in sintonia con lui. Per quanto riguarda Einstein, che osservava la natura attraverso lenti spinoziane, è difficile pensare che la coscienza potesse confonderlo, ammesso che l'idea di far chiarezza su di essa fosse mai rientrata nel suo raggio di interesse.

2. A partire da circa dieci anni fa, ho affrontato in modo specifico il problema della coscienza in un libro e in alcuni articoli scientifici. Si vedano Antonio Damasio, *Investigating the Biology of Consciousness*, in «Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences», 353, 1998; Antonio Damasio, *The Feeling of What Happens. Body and Emotion in the Mak-*

ing of Consciousness, Harcourt Brace, New York, 1999 [trad. it. di Simonetta Frediani, *Emozione e coscienza*, Adelphi, Milano, 2000]; Josef Parvizi e Antonio Damasio, *Consciousness and the Brainstem*, in «Cognition», 79, 2001, pp. 135-59; Antonio Damasio, *The Person Within*, in «Nature», 423, 2003, p. 227; Josef Parvizi e Antonio Damasio, *Neuroanatomical Correlates of Brainstem Coma*, in «Brain», 126, 2003, pp. 1524-36; David Rudrauf e A.R. Damasio, *A Conjecture Regarding the Biological Mechanism of Subjectivity and Feeling*, in «Journal of Consciousness Studies», 12, 2005, pp. 236-62; Antonio Damasio e Kaspar Meyer, *Consciousness. An Overview of the Phenomenon and of Its Possible Neural Basis*, in *The Neurology of Consciousness. Neuroscience and Neuropathology*, a cura di Steven Laureys e Giulio Tononi, Academic Press, London, 2009.

3. W. Penfield, *Epileptic Automatisms and the Centrencephalic Integrating System*, in «Research Publications of the Association for Nervous and Mental Disease», 30, 1952, pp. 513-28; W. Penfield e H.H. Jasper, *Epilepsy and the Functional Anatomy of the Human Brain*, Little, Brown, New York, 1954; G. Moruzzi e H.W. Magoun, *Brain Stem Reticular Formation and Activation of the EEG*, in «Electroencephalography and Clinical Neurophysiology», I, 4, 1949, pp. 455-73.

4. Per una rassegna della letteratura rilevante sull'argomento, raccomando l'ultima edizione di un classico: Jerome B. Posner, Clifford B. Saper, Nicholas D. Schiff e Fred Plum, *Plum and Posner's Diagnosis of Stupor and Coma*, Oxford University Press, New York, 2007 [trad. it. di Sara Ratti e Angela Tedesco, *Stupor e coma. Diagnosi, prognosi e trattamento*, Cortina, Milano, 2009].

5. William James, *The Principles of Psychology*, 2 voll., Dover Press, New York, 1890 [Damasio usa, qui e in tutto il libro, il termine *feeling*, in italiano reso quasi sempre con «sentimento» inteso come «sensazione» o «sentire»; solo in qualche caso sono stati utilizzati questi altri due traducenti, per evitare ambiguità].

6. «Un accenno appena intuito» e «un dono appena compreso» sono espressioni che ho preso a prestito da T.S. Eliot per descrivere questa natura elusiva in Damasio, *Feeling of What Happens*, cit.

7. James, *The Principles*, cit., vol. I, cap. 2.

8. Antonio Damasio, *The Somatic Marker Hypothesis and the Possible Function of the Prefrontal Cortex*, in «Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences», 351, 1346, 1996, pp. 1413-20; Antonio Damasio, *Descartes' Error*, Putnam, New York, 1994 [trad. it. di Filippo Macaluso, *L'errore di Cartesio. Emozione, ragione e cervello umano*, Adelphi, Milano, 1995].

9. John Searle, *The Mystery of Consciousness*, New York Review Books, New York, 1990 [trad. it. di Eddy Carli, *Il mistero della coscienza*, Cortina, Milano, 1998].

10. Una classica strategia è stata quella – ben esemplificata da Francis Crick e Christof Koch nel loro *A Framework for Consciousness*, in «Nature Neuroscience», 6, 2, 2003, pp. 119-26 – di avvicinarsi alla coscienza attraverso lo studio della percezione, mettendo invece momentaneamente da parte l'interesse per il sé. Il lettore troverà un'eccezione notevole in un libro che tratta principalmente l'emozione: J. Panksepp, *Affective Neuroscience. The Foundation of Human and Animal Emotions*, Oxford University Press, New York, 1998. Anche Rodolfo Llinás riconosce l'importanza del sé; si veda a tal proposito il suo *I of the Vortex. From Neurons to Self*, MIT Press, Cambridge, Mass., 2002. Il pensiero di Gerald Edelman sulla coscienza implica la presenza di un processo del sé, sebbene esso non rappresenti il punto focale delle idee proposte in *The Remembered Present. A Biological Theory of Consciousness*, Basic Books, New York, 1989 [trad. it. di Libero Sosio, *Il presente ricordato. Una teoria biologica della coscienza*, Rizzoli, Milano, 1991].

11. David Hume, *Trattato sulla natura umana*, libro I, parte IV, sezione sesta, trad. it. di A. Carlini, Laterza, Roma-Bari, 1978, p. 264 [*N.d.T.*].

12. Gli aspetti essenziali della divergenza sono discussi in James, *Principles*, cit., vol. I, pp. 350-52. Ecco l'affermazione di Hume e la replica di James:

HUME: «Non riesco mai a sorprendere *me stesso* senza una percezione e a cogliervi altro che la percezione. Quando per qualche tempo le mie percezioni sono assenti, come nel sonno profondo, resto senza coscienza di *me stesso*, e si può dire che realmente, durante quel tempo, non esisto. E se tutte le mie percezioni fossero soppresse dalla morte, sì che non potessi più né pensare né sentire, né vedere, né amare, né odiare, e il mio corpo fosse dissolto, io sarei interamente annientato, e non so che cosa si richieda di più per far di me una perfetta non-entità. Se qualcuno, dopo una seria e spregiudica-

ta riflessione, crede di avere una nozione differente di *se stesso*, dichiaro che non posso seguitar a ragionare con lui. Tutt'al più, gli potrei concedere che può aver ragione come l'ho io, e che in questo punto siamo essenzialmente differenti: egli forse percepisce qualcosa di semplice e di continuo, che chiama *se stesso*, mentre io son certo che in me un tale principio non esiste» (*Treatise on Human Nature*, libro I, parte IV, sezione sesta [trad. it. cit., p. 264]).

JAMES: «Hume, tuttavia, dopo questo buon lavoro introspettivo, procede gettando il bambino insieme all'acqua sporca, e si precipita verso una posizione estrema quanto quella dei filosofi sostanzialisti. Proprio come quelli affermano che il Sé non è altro che Unità, unità astratta e assoluta, così Hume afferma che esso non è altro che Diversità, diversità astratta e assoluta; mentre in verità esso è quella mistura di unità e diversità che noi stessi abbiamo già trovato assai facile criticare ... egli nega l'esistenza di questo tema di somiglianza, di questo nucleo di identità che percorre le componenti del Sé, perfino come oggetto fenomenico».

13. Daniel Dennet, *Consciousness Explained*, Little, Brown, New York, 1992 [trad. it. di Lauro Colasanti, *Coscienza. Che cosa è*, Laterza, Roma-Bari, 2009]; S. Gallagher, *Philosophical Conceptions of Self. Implications for Cognitive Science*, in «Trends in Cognitive Science», 4, I, 2000, pp. 14-21; G. Strawson, *The Self*, in «Journal of Consciousness Studies», 4, 5-6, 1997, pp. 405-28. Oltre alle opere citate nella nota 10, si vedano anche Damasio, *Feeling of What Happens*, cit.; P.S. Churchland, *Self-Representation in Nervous Systems*, in «Science», 296, 5566, 2002, pp. 308-10; J. LeDoux, *The Synaptic Self. How Our Brains Become Who We Are*, Viking Press, New York, 2002 [trad. it. di Monica Longoni e Alessia Ranieri, *Il sé sinaptico. Come il nostro cervello ci fa diventare quelli che siamo*, Cortina, Milano, 2002]; Chris Frith, *Making Up the Mind. How the Brain Creates Our Mental World*, Wiley-Blackwell, New York, 2007 [trad. it. di Eraldo Paulesu, *Inventare la mente. Come il cervello crea la nostra vita mentale*, Cortina, Milano, 2009]; G. Northoff, A. Heinzel, M. de Greek, F. Bermpohl, H. Doborowolny e J. Panksepp, *Self-referential Processing in Our Brain. A Meta-analysis of Imaging Studies on the Self*, in «NeuroImage», 31, I, 2006, pp. 440-57.

14. Il lavoro di Roger Penrose e Stuart Hameroff esemplifica questa posizione, che è stata anche difesa dal filosofo David Chalmers. Si vedano Roger Penrose, *The Emperor's New Mind. Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics*, Oxford University Press, Oxford, 1989 [trad. it. di Libero Sosio, *La*

mente nuova dell'imperatore. La mente, i computer e le leggi della fisica, Rizzoli, Milano, 1992]; S. Hameroff, *Quantum Computation in Brain Microtubules? The Penrose-Hameroff 'Orch OR' Model of Consciousness*, in «Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciencies», 356, 1998, pp. 1869-96; David Chalmers, *The Conscious Mind. In Search of a Fundamental Theory*, Oxford University Press, Oxford, 1996 [trad. it. di Alfredo Paternoster e Cristina Meini, *La mente cosciente*, McGraw-Hill, Milano, 1999]. Il ragionamento sulla coincidenza dei misteri è stato argomentato in modo convincente in Patricia S. Churchland e Rick Grush, *Computation and the Brain*, in *The MIT Encyclopedia of Cognitive Science*, a cura di R. Wilson, MIT Press, Cambridge, Mass., 1998.

15. La falsa intuizione è rafforzata dall'asserzione che le dimensioni o la massa degli stati mentali non possono essere misurate servendosi di strumenti convenzionali. Questo è innegabilmente vero, ma la situazione è una conseguenza della localizzazione degli eventi mentali (le profondità recondite del cervello) là dove non è possibile eseguire misurazioni convenzionali. Per gli osservatori, tale situazione è fonte di frustrazione, ma non dice nulla sulla fisicità, o sull'assenza di fisicità, degli stati mentali. Questi ultimi hanno inizio a livello fisico, e fisici rimangono. Possono essere rivelati solo quando una costruzione ugualmente fisica, che chiamiamo sé, diventa disponibile ed esegue il suo compito di testimone. I tradizionali concetti di *materia* e di *mentale* hanno un'accezione inutilmente ristretta. L'onere della prova ricade su coloro per i quali è naturale che gli stati della mente siano costituiti dall'attività cerebrale; con ogni probabilità, tuttavia, avallare la dicotomia intuitiva mente-cervello come l'unica piattaforma per la discussione del problema non incoraggerà la ricerca di ulteriori prove.

16. Il pensiero evoluzionista è anche una componente fondamentale delle ipotesi sulla coscienza di scienziati quali, per esempio, Gerald Edelman, Jaak Panksepp e Rodolfo Llinás. Si veda anche Nicholas Humphrey, *Seeing Red. A Study in Consciousness*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 2006 [trad. it. di Eva Filoramo, *Rosso. Uno studio sulla coscienza*, Codice, Torino, 2007]. Come esempi dell'applicazione del pensiero evoluzionista alla comprensione della mente umana, si vedano E.O. Wilson (un pioniere in questo campo), *Con-*

silience. The Unity of Knowledge, Knopf, New York, 1998 [trad. it. di Roberto Cagliero, *L'armonia meravigliosa. Dalla biologia alla religione, la nuova unità della conoscenza*, Mondadori, Milano, 1999], e Steven Pinker, *How the Mind Works*, Norton, New York, 1997 [trad. it. di Massimo Parizzi, *Come funziona la mente*, Mondadori, Milano, 2000].

17. In merito alle fondamentali ricerche sulle pressioni selettive esercitate nel corso dello sviluppo del cervello individuale, si vedano Jean-Pierre Changeux, *L'homme neuronal*, Fayard, Paris, 1983 [l'autore ha consultato la trad. ingl. di Laurence Garey, *Neuronal Man. The Biology of Mind*, Pantheon, New York, 1985; il lettore italiano può vedere la traduzione di Cesare Sughi, *L'uomo neuronale*, Feltrinelli, Milano, 1983], e Edelman, *Remembered Present*, cit.

18. Le mie precedenti descrizioni del sé non contemplavano il sé primordiale. I sentimenti elementari di esistenza erano parte del sé nucleare. Sono giunto alla conclusione che il processo può funzionare solo se la componente del proto-sé localizzata a livello del tronco encefalico genera un sentimento elementare, una sorta di primordio, indipendentemente dal fatto che un qualsiasi oggetto interagisca con l'organismo e quindi modifichi il proto-sé. Jaak Panksepp difende da tempo un'interpretazione del processo per certi versi simile, individuando anch'egli nel tronco encefalico il suo luogo di origine. Si veda Panksepp, *Affective Neuroscience*, cit. Le idee di Panksepp differiscono dalle mie sotto questi aspetti: in primo luogo, il semplice sentimento da lui postulato sembra essere necessariamente legato a eventi che hanno luogo nel mondo esterno. Panksepp lo descrive come «quell'ineffabile sentimento in cui si ha esperienza di sé come agenti attivi negli eventi percepiti del mondo». Io ipotizzo invece che il sentimento primitivo/sé primordiale sia un prodotto spontaneo del proto-sé. In teoria, i sentimenti primordiali hanno luogo indipendentemente dal fatto che il proto-sé sia coinvolto o meno da oggetti ed eventi esterni al cervello: occorre solo che essi siano legati al corpo e nient'altro. La descrizione di Panksepp è più vicina alla mia descrizione del sé nucleare, che effettivamente comprende un sentimento di conoscenza relativo a un oggetto. Nella scala della costruzione del sé, sembra essere un gradino più in alto. In secondo luogo, per Panksepp questa coscienza primaria è in relazione principalmente con

le attività motorie nelle strutture del tronco encefalico (grigio periacqueduttale, cervelletto, collicoli superiori), mentre io pongo l'accento su strutture sensoriali quali il nucleo del tratto solitario e il nucleo parabrachiale, sebbene esse siano in stretta associazione con il grigio periacqueduttale e con gli strati profondi del collicolo superiore.

19. Allusione a un verso di Emily Dickinson: «The brain is wider than the sky, / For, put them side by side, / The one the other will include / With ease, and you beside» («È più vasto del cielo – il cervello – / prova a metterli accanto – / e l'uno l'altro conterrà sicuro – / e inoltre – anche te», in Emily Dickinson, *Tutte le poesie*, a cura di Marisa Bulgheroni, Mondadori, Milano, 1997, p. 717 [*N.d.T.*].

20. Lo studio dei legami esistenti fra le reti neurobiologiche da un lato, e le reti sociali dall'altro rappresenta un'importante area di indagine. Si veda Manuel Castells, *Communication Power*, Oxford University Press, New York, 2009.

21. Si veda F. Scott Fitzgerald, *The Diamond as Big as the Ritz*, Scribner's, New York, 1922 [trad. it. di Giorgio Monicelli e Bruno Oddera, *Il diamante grosso come l'Hotel Ritz*, in *Racconti dell'età del jazz*, Mondadori, Milano, 1968, p. 253, modificata].

2. DALLA REGOLAZIONE DEI PROCESSI VITALI AL VALORE BIOLOGICO

1. Ecco alcune delle fonti dei concetti discussi in questo paragrafo: Gerald M. Edelman, *Topobiology. An Introduction to Molecular Embryology*, Basic Books, New York, 1988 [trad. it. di Gilberto Corbellini e Domenico Ribatti, *Topobiologia. Introduzione all'embriologia molecolare*, Bollati Boringhieri, Torino, 1993]; Christian De Duve, *Blueprint for a Cell. The Nature and Origin of Life*, Neil Patterson, Burlington, N.C., 1991; Robert D. Barnes e Edward E. Ruppert, *Invertebrate Zoology*, Saunders College Publishing, New York, 1994 [trad. it. di Riccardo Milani *Zoologia. Gli invertebrati*, Piccin, Padova, 1997]; Eshel Ben-Jacob, Ofer Schochet, Adam Tenenbaum, Inon Cohen, Andras Czirók e Tamas Vicsek, *Generic Modeling of Cooperative Growth Patterns in Bacterial Colonies*, in «Nature», 368, 6466, 1994, pp. 46-

49; Christian De Duve, *Vital Dust. Life as a Cosmic Imperative*, Basic Books, New York, 1995 [trad. it. di Libero Sosio, *Polvere vitale*, TEA, Milano, 2001]; Ann B. Butler e William Hodos, *Comparative Vertebrate Neuroanatomy*, Wiley Interscience, Hoboken, N.J., 2005; Andrew H. Knoll, *Life on a Young Planet*, Princeton University Press, Princeton, N.J., 2003; Bert Hölldobler e Edward O. Wilson, *The Superorganism*, W.W. Norton, New York, 2009 [trad. it. di Isabella C. Blum, *Il superorganismo*, Adelphi, Milano, 2011]; Jonathan Flint, Ralph J. Greenspan e Kenneth Kendler, *How Genes Influence Behavior*, Oxford University Press, New York, 2010.

2. Lynn Margulis, *Symbiosis in Cell Evolution. Microbial Communities*, W.H. Freeman, San Francisco, 1993; L. Sagan, *On the Origin of Mitosing Cells*, in «Journal of Theoretical Biology», 14, 1967, pp. 225-74; J. Shapiro, *Bacteria as Multicellular Organisms*, in «Scientific American», 256, 6, 1998, pp. 84-89.

3. Ho già fatto cenno, in alcuni miei scritti precedenti, a questa anticipazione e anteprima comportamentale, in organismi semplici, di atteggiamenti che noi solitamente associamo al comportamento umano complesso. Si vedano Damasio, *The Feeling of What Happens*, cit.; e *Looking for Spinoza*, Harcourt Brace, New York, 2003 [trad. it. di Isabella C. Blum, *Alla ricerca di Spinoza*, Adelphi, Milano, 2003]. Rodolfo Llinás ha fatto riflessioni simili nel suo *I of the Vortex*, cit., come pure T. Fitch in *Nano-intentionality. A Defense of Intrinsic Intentionality*, in «Biology and Philosophy», 23, 2, 2007, pp. 157-77.

4. Per una *review* sulla fisiologia generale dei neuroni, si veda Eric R. Kandel, James H. Schwartz e Thomas M. Jessel, *Principles of Neural Science*, quarta ediz., McGraw-Hill, New York, 2000 [trad. it. di Virgilio Perri e Giuseppe Spidalieri, *Principi di neuroscienze*, terza ediz., Cea, Milano, 2003].

5. De Duve, *Vital Dust*, cit.

6. Claude Bernard, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Paris, 1865 [l'autore ha consultato la traduzione inglese di Henry Copley Greene, *An Introduction to the Study of Experimental Medicine*, Macmillan, New York, 1927; il lettore italiano può fare riferimento alla traduzione di Francesco Ghiretti, *Introduzione allo studio della medicina sperimentale*, Cooperativa libro popolare, Milano, 1951]; Walter Cannon, *The Wisdom of the Body*, W.W. Norton, New York, 1932 [trad. it. di

Lionello Torossi, *La saggezza del corpo*, Bompiani, Milano, 1956].

7. Le risposte riguardanti l'origine dell'omeostasi devono essere cercate a livelli ancora più semplici. Il comportamento di certe molecole sta alla base del loro spontaneo assemblaggio in strutture organizzate come l'RNA e il DNA. Qui ci troviamo ad affrontare interrogativi che riguardano l'origine stessa della vita. Possiamo affermare, con una certa sicurezza, che la conformazione di alcune molecole conferisce loro una naturale conservazione di «sé», che in questo momento è quanto di più vicino si possa immaginare al primo barlume di omeostasi.

8. Per una *review* sulle posizioni delle neuroscienze in merito al concetto di valore, si veda Read Montague, *Why Choose This Book? How We Make Decisions*, Penguin, London, 2006 [trad. it. di Luca Guzzardi, *Perché l'hai fatto? Come prendiamo le nostre decisioni*, Cortina, Milano, 2008]. Un volume recente sul processo decisionale ha prestato anch'esso attenzione al concetto di valore: Paul W. Glimcher *et al.*, a cura di, *Neuroeconomics. Decision Making and the Brain*, Academic Press, London, 2009; in particolare, si vedano i contributi di Peter Dayan e Ben Seymour, *Values and Actions in Aversion*; Antonio Damasio, *Neuroscience and the Emergence of Neuroeconomics*; Wolfram Schultz, *Midbrain Dopamine Neurons. A Retina of the Reward System?*; Bernard W. Balleine, Nathaniel D. Daw e John P. O'Doherty, *Multiple Forms of Value Learning and the Function of Dopamine*; Brian Knutson, Mauricio R. Delgado e Paul E.M. Phillips, *Representation of Subjective Value in the Striatum*; e Kenji Doya e Minoru Kimura, *The Basal Ganglia and Encoding of Value*.

9. Il lettore può trovare un quadro chiaro della complessità della regolazione omeostatica in Alan G. Watts e Casey M. Donovan, *Sweet Talk in the Brain. Glucosensing, Neural Net Works, and Hypoglycemic Counterregulation*, in «Frontiers in Neuroendocrinology», 31, 2010, pp. 32-43.

10. C. Bargmann, *Olfaction. From the Nose to the Brain*, in «Nature», 384, 6609, 1996, pp. 512-13; C. Bargmann, *Neuroscience. Comraderie and Nostalgia in Nematodes*, in «Current Biology», 15, 2005, pp. R832-33. Sono grato a Baruch Blumberg per aver richiamato la mia attenzione sul concetto di «quorum sensing».

11. La regolazione automatica dei processi vitali che ha luogo in assenza di mente e coscienza negli organismi semplici è sufficientemente efficace da permettere la sopravvivenza in ambienti che offrano abbondanti nutrienti con un basso rischio di contingenze quali variazioni di temperatura e presenza di predatori. Questi semplici organismi, d'altra parte, devono rimanere all'interno degli ambienti per i quali sono adattati, o altrimenti andare incontro all'estinzione. Moltissime specie tuttora esistenti se la cavano magnificamente nella loro nicchia ecologica, operando *esclusivamente* con una regolazione automatica dei processi vitali.

Per una creatura sconfinante, incline al vagabondaggio, l'uscita dalla nicchia ecologica originaria apre ogni sorta di possibilità. D'altra parte, lo sconfinamento ha un costo potenziale. In situazioni di scarsità, la sopravvivenza è possibile solo quando chi sconfina è dotato di raffinati dispositivi che gli consentono nuove opzioni di comportamento. Questi nuovi dispositivi devono offrire preziosi «consigli», inducendo lo sconfinatore a migrare altrove in cerca di ciò che gli serve, e devono indicare metodi alternativi e sicuri per farlo. I nuovi dispositivi consentono inoltre alla creatura sconfinante di prevedere i rischi incombenti – per esempio i predatori – e offrono un modo per eluderli.

3. LA CREAZIONE DI MAPPE E IMMAGINI

1. Llinás, *I of the Vortex*, cit.

2. Per una chiara analisi del perché il cervello non sia una tabula rasa, si veda Steve Pinker, *The Blank Slate. The Modern Denial of Human Nature*, Viking, New York, 2002 [trad. it. di Massimo Parizzi, *Tabula rasa. Perché non è vero che gli uomini nascono tutti uguali*, Mondadori, Milano, 2005].

3. R.B.H. Tootell, E. Switkes, M.S. Silverman *et al.*, *Functional Anatomy of Macaque Striate Cortex. II. Retinotopic Organization*, in «Journal of Neuroscience», 8, 1983, pp. 1531-68; K. Meyer, J.T. Kaplan, R. Essex, C. Webber, H. Damasio e A. Damasio, *Predicting Visual Stimuli on the Basis of Activity in Auditory Cortices*, in «Nature Neuroscience», 13, 2010, pp. 667-68; G. Rees e J.D. Haynes, *Decoding Mental States from Brain Activity in Hu-*

mans, in «Nature Reviews Neuroscience», 7, 2006, pp. 523-34. Si vedano anche Gerald Edelman, *Neural Darwinism. The Theory of Neuronal Group Selection*, Basic Books, New York, 1987 [trad. it. di Silvio Ferraresi, *Darwinismo neurale. La teoria della selezione dei gruppi neuronali*, Einaudi, Torino, 1995], per un'importante discussione sulle mappe neurali e per la sua insistenza sul concetto del valore applicato alla selezione delle mappe; e David Hubel e Torsten Wiesel, *Brain and Visual Perception*, Oxford University Press, New York, 2004.

4. Come ho proposto altrove, l'attribuzione del valore viene forse effettuata sulla base di un marcatore emozionale, un marcatore somatico: si veda Damasio, *The Somatic Marker Hypothesis and the Possible Functions of the Prefrontal Cortex*, cit.

5. Si vedano, per un'analisi della letteratura pertinente all'argomento, nel campo della neuropsicologia, H. Damasio e A. Damasio, *Lesion Analysis in Neuropsychology*, Oxford University Press, New York, 1989; Kenneth M. Heilman e Edward Valenstein, a cura di, *Clinical Neuropsychology*, quarta ediz., Oxford University Press, Oxford, 2003; H. Damasio e A.R. Damasio, *The Neural Basis for Memory, Language and Behavioral Guidance. Advances with the Lesion Method in Humans*, in «Seminars in the Neurosciences», 2, 1990, pp. 277-96; A. Damasio, D. Tranel e M. Rizzo, *Disorders of Complex Visual Processing*, in *Principles of Behavioral and Cognitive Neurology*, a cura di M.M. Mesulam, Oxford University Press, New York, 2000.

6. Bjorn Merker è un altro autore che si è espresso a favore di un'origine della mente e perfino della coscienza a livello del tronco encefalico; si veda il suo *Consciousness Without a Cerebral Cortex*, in «Behavioral and Brain Sciences», 30, 2007, pp. 63-81.

7. Antonio R. Damasio, Paul J. Eslinger, Hanna Damasio, Gary W. Van Hoesen e Steven Cornell, *Multimodal Amnesic Syndrome Following Bilateral Temporal and Basal Forebrain Damage*, in «Archives of Neurology», 42, 3, 1985, pp. 252-59; Justin S. Feinstein, David Rudrauf, Sahib S. Khlasa, Martin D. Cassell, Joel Bruss, Thomas J. Grabowski e Daniel Tranel, *Bilateral Limbic System Destruction in Man*, in «Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology», 32, 1, 2010, pp. 88-106.

8. Si potrebbe controbattere che, in assenza dell'insula, altre cortecce somatosensoriali (SI, SII) potrebbero rappresentare l'origine dei sentimenti; o che il ruolo potrebbe esser ricoper-

to anche dalla corteccia anteriore del cingolo, giacché la si riscontra spesso attiva negli studi sulle emozioni e i sentimenti, eseguiti con risonanza magnetica funzionale. Questa idea è per molti aspetti problematica. In primo luogo, la corteccia anteriore del cingolo è essenzialmente una struttura motoria, implicata nella creazione – più che nel rilevamento – delle risposte emozionali. In secondo luogo, l'informazione viscerale viene dapprima incanalata verso l'insula e solo in un secondo momento distribuita alle cortecce SI e SII. Un danno esteso dell'insula preclude questo processo. In terzo luogo, studi eseguiti con risonanza magnetica funzionale sui sentimenti (del corpo e delle emozioni) in individui normali rivelano un'attivazione abbondante e sistematica dell'insula, mentre l'attivazione delle cortecce SI e SII si riscontra raramente: un risultato coerente con il fatto che tali cortecce sono dedicate all'esterocezione e alla propriocezione (la mappatura del tatto, della pressione e dei movimenti scheletrici) più che all'enterocezione (la mappatura dei visceri e del *milieu* interno). Infatti, il dolore di origine viscerale tende a non essere ben mappato nella corteccia SI, come hanno dimostrato M.C. Bushnell, G.H. Duncan, R.K. Hofbauer, B. Ha, J.L. Chen e B. Carrier nel loro *Pain Perception. Is There a Role for Primary Somatosensory Cortex?*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», 96, 1999, pp. 7705-709.

9. Parvizi e Damasio, *Consciousness and the Brainstem*, cit.

10. Alan D. Shewmon, Gregory L. Holmes e Paul A. Byrne, *Consciousness in Congenitally Decorticate Children. Developmental Vegetative State as a Self-fulfilling Prophecy*, in «Developmental Medicine and Child Neurology», 41, 1999, pp. 364-74.

11. Bernard M. Strehler, *Where Is the Self? A Neuroanatomical Theory of Consciousness*, in «Synapse», 7, 1991, pp. 44-91; Panksepp, *Affective Neuroscience*, cit., Oxford University Press, New York, 1998. Si veda anche Merker, *Consciousness Without a Cerebral Cortex*, cit.

12. Ovvero, viene conservata la configurazione mappata a livello retinico, e l'attività del collicolo sinistro è riferita all'emicampo visivo destro (e viceversa). I neuroni degli strati superficiali del collicolo superiore rispondono preferenzialmente a stimoli *a*) in movimento invece che stazionari e *b*) in movimento lento invece che veloce. Mostrano inoltre una

preferenza per gli stimoli che attraversano il campo visivo muovendosi in una direzione specifica. La visione offerta dal collicolo superiore privilegia dunque il rilevamento e l'inseguimento di bersagli mobili.

A differenza di quelli superficiali, gli strati profondi del collicolo sono connessi a diverse strutture legate alla visione, all'udito, alle sensazioni corporee e al movimento. Gli input visivi arrivano a questi strati direttamente dalla retina controlaterale. L'input uditivo proviene dal collicolo inferiore, mentre l'input somatosensoriale arriva da strutture quali il midollo spinale, il nucleo del trigemino, il nucleo del vago, l'area postrema e l'ipotalamo. L'informazione propriocettiva – ovvero quella varietà di informazione somatosensoriale che riguarda la muscolatura – raggiunge il collicolo superiore dal midollo spinale, passando per il cervelletto. Infine, l'informazione vestibolare è trasmessa da proiezioni che passano per il nucleo fastigiale.

13. Il contrasto fra il collicolo superiore e quello inferiore è molto indicativo. Anche il collicolo inferiore è una struttura stratificata, ma il suo dominio è esclusivamente uditivo. È un'importante stazione di transito per segnali diretti alla corteccia cerebrale. Il collicolo superiore ha sia un dominio visivo, legato agli strati superficiali, sia un dominio dedicato alla coordinazione, legato agli strati profondi. Si vedano Paul J. May, *The Mammalian Superior Colliculus. Laminar Structure and Connections*, in «Progress in Brain Research», 151, 2006, pp. 321-78; Barry E. Stein, *Development of the Superior Colliculus*, in «Annual Review of Neuroscience», 7, 1984, pp. 95-125; Eliana M. Klier, Hongying Wang e Douglas J. Crawford, *The Superior Colliculus Encodes Gaze Commands in Retinal Coordinates*, in «Nature Neuroscience», 4, 6, 2001, pp. 627-32; e Michael F. Huerta e John K. Harting, *Connectional Organization of the Superior Colliculus*, in «Trends in Neurosciences», 7, 8, 1984, pp. 286-89.

14. Strehler, *Where Is the Self?*, cit.; Merker, *Consciousness Without a Cerebral Cortex*, cit.

15. D. Denny-Brown, *The Midbrain and Motor Integration*, in «Proceedings of the Royal Society of Medicine», 55, 1962, pp. 527-38.

16. Michael Brecht, Wolf Singer e Andreas K. Engel, *Patterns*

of Synchronization in the Superior Colliculus of Anesthetized Cats, in «Journal of Neuroscience», 19, 9, 1999, pp. 3567-79; Michael Brecht, Rainer Goebel, Wolf Singer e Andreas K. Engel, *Synchronization of Visual Responses in the Superior Colliculus of Awake Cats*, in «NeuroReport», 12, 1, 2001, pp. 43-47; Michael Brecht, Wolf Singer e Andreas K. Engel, *Correlation Analysis of Corticotectal Interactions in the Cat Visual System*, in «Journal of Neurophysiology», 79, 1998, pp. 2394-407.

17. Wolf Singer, *Formation of Cortical Cell Assemblies*, in «Symposium on Qualitative Biology», 55, 1990, pp. 939-52; Llinás, *I of the Vortex*, cit.

18. Lucia Melloni, Carlos Molina, Marcela Pena, David Torres, Wolf Singer e Eugenio Rodriguez, *Synchronization of Neural Activity Across Cortical Areas Correlates with Conscious Perception*, in «Journal of Neuroscience», 27, 11, 2007, pp. 2858-65.

4. IL CORPO NELLA MENTE

1. Franz Brentano, *Psychologie vom empirischen Standpunkt*, Leipzig, 1874 [l'autore ha consultato la traduzione inglese di Antos C. Rancurello, D.B. Terrel e Linda L. McAllister, *Psychology from an Empirical Standpoint*, Routledge, London, 1995, pp. 88-89; il lettore italiano può fare riferimento alla traduzione a cura di Liliana Albertazzi, *Psicologia da un punto di vista empirico*, Laterza, Roma-Bari, 1997].

2. Daniel Dennett è da tempo fautore di questa stessa posizione: si veda il suo *The Intentional Stance*, MIT Press, Cambridge, Mass.,1987 [trad. it. di Erica Bassato, *L'atteggiamento intenzionale*, il Mulino, Bologna, 1993]; recentemente anche Tecumseh Fitch si è schierato in modo simile in *Nano-intentionality. A Defense of Intrinsic Intentionality*, in «Biology and Philosophy», 23, 2, 2007, pp. 157-77.

3. William James, *The Principles of Psychology*, cit. Fino a pochissimo tempo fa le neuroscienze hanno in larga misura trascurato l'approccio di James, il quale considerava il corpo rilevante per la comprensione della mente. In filosofia, però, il corpo continuò ad avere una parte fondamentale, e un esempio famoso a tal proposito è quello di Maurice Merleau-Ponty, *Phé-*

noménologie de la perception, Gallimard, Paris, 1961 [l'autore ha consultato la traduzione in inglese di Colin Smith, *Phenomenology of Perception*, Routledge, London, 1962; il lettore italiano può fare riferimento alla traduzione di Andrea Bonomi, *Fenomenologia della percezione*, Bompiani, Milano, 2009]. Tra i filosofi contemporanei, Mark Johnson è il leader riconosciuto in questo campo. Il corpo aveva un ruolo prominente nel suo famoso libro, scritto con George Lakoff, *Metaphors We Live By*, University of Chicago Press, Chicago, 1980 [trad. it. di Patrizia Violi, *Metafora e vita quotidiana*, Bompiani, Milano, 2007]; tuttavia, sono state due sue monografie successive a trattare il tema nel modo più autorevole: Mark Johnson, *The Body in the Mind. The Bodily Basis of Meaning, Imagination, and Reason*, University of Chicago Press, Chicago, 1987; e Mark Johnson, *The Meaning of the Body. Aesthetics of Human Understanding*, University of Chicago Press, Chicago, 2007.

4. Julian Jaynes, *The Origin of Consciousness in the Breakdown of the Bicameral Mind*, Houghton Miffin, New York, 1976 [trad. it. di Libero Sosio, *Il crollo della mente bicamerale e l'origine della coscienza*, Adelphi, Milano, 1984].

5. Le due figure fondamentali in questa storia sono Ernst Heinrich Weber e Charles Scott Sherrington. Si vedano Weber, *Handwörterbuch des Physiologie mit Rücksicht auf physiologische Pathologie*, a cura di R. Wagner, Biewig und Sohn, Braunschweig, 1846, e Sherrington, *Textbook of Physiology*, a cura di E.A. Schäfer, Pentland, Edinburgh, 1900. Purtroppo, quando rivide il suo celebre trattato, Sherrington aveva ormai abbandonato il concetto tedesco di *Gemeingefühl*, ovvero di sentimento corporeo generale, e non diede più enfasi alla sua precedente idea di «me materiale». Si veda C.S. Sherrington, *The Integrative Action of the Nervous System*, Cambridge University Press, Cambridge, 1948. A.D. Craig ha offerto un'accurata analisi storica di questo stato di cose nel suo *How Do You Feel? Interoception. The Sense of the Physiological Condition of the Body*, in «Nature Reviews Neuroscience», 3, 2002, pp. 655-66.

6. Gli aspetti fondamentali delle reciproche connessioni fra corpo e cervello sono passati efficacemente in rassegna da Clifford Saper nel suo *The Central Autonomic Nervous System. Conscious Visceral Perception and Autonomic Pattern Generation*, in «Annual Review of Neuroscience», 25, 2002, pp. 433-69. Si veda anche Stephen W. Porges, *The Polyvagal Perspective*, in «Bio-

logical Psychology», 74, 2007, pp. 116-43. Informazioni sulla struttura dei nuclei del tronco encefalico e dell'ipotalamo preposti all'esecuzione di questo processo a doppio senso possono essere ricavate dai seguenti articoli: Caroline Gauriau e Jean-François Bernard, *Pain Pathways and Parabrachial Circuits in the Rat*, in «Experimental Physiology», 87, 2, 2001, pp. 251-58; M. Giola, R. Luigi, Maria Grazia Pretruccioli e Rossella Bianchi, *The Cytoarchitecture of the Adult Human Parabrachial Nucleus. A Nissl and Golgi Study*, in «Archives of Histology and Cytology», 63, 5, 2001, pp. 411-24; Michael M. Behbahani, *Functional Characteristics of the Midbrain Periaqueductal Gray*, in «Progress in Neurobiology», 46, 1995, pp. 575-605; Thomas M. Hyde e Richard R. Miselis, *Subnuclear Organization of the Human Caudal Nucleus of the Solitary Tract*, in «Brain Research Bulletin», 29, 1992, pp. 95-109; Deborah A. McRitchie e Istvan Törk, *The Internal Organization of the Human Solitary Nucleus*, in «Brain Research Bulletin», 31, 1992, pp. 171-93; Christine H. Block e Melinda L. Estes, *The Cytoarchitectural Organization of the Human Parabrachial Nuclear Complex*, in «Brain Research Bulletin», 24, 1989, pp. 617-26; L. Bourgeais, L. Monconduit, L. Villanueva e J.F. Bernard, *Parabrachial Internal Lateral Neurons Convey Nociceptive Messages from the Deep Laminas of the Dorsal Horn to the Intralaminar Thalamus*, in «Journal of Neuroscience», 21, 2001, pp. 2159-65.

7. Damasio, *Descartes' Error*, cit.

8. M.E. Goldberg e C.J. Bruce, *Primate Frontal Eye Fields. III. Maintenance of a Spatially Accurate Saccade Signal*, in «Journal of Neurophysiology», 64, 1990, pp. 489-508; M.E. Goldberg e R.H. Wurtz, *Extraretinal Influences on the Visual Control of Eye Movement*, in *Motor Control. Concepts and Issues*, a cura di D.R. Humphrey e H.-J. Freund, Wiley, Chichester, UK, 1991, pp. 163-79.

9. Giacomo Rizzolatti e Laila Craighero, *The Mirror-Neuron System*, in «Annual Review of Neuroscience», 27, 2004, pp. 169-92; Vittorio Gallese, *The Shared Manifold Hypothesis*, in «Journal of Consciousness Studies», 8, 2001, pp. 33-50.

10. R. Hari, N. Forss, S. Avikainen, E. Kirveskari, S. Salenius e G. Rizzolatti, *Activation of Human Primary Motor Cortex During Action Observation. A Neuro-magnetic Study*, in «Proceedings of the National Academy of Science», 95, 1998, pp. 15061-65.

11. Tania Singer, Ben Seymour, John O'Doherty, Holger Kaube, Raymond J. Dolan e Chris D. Frith, *Empathy for Pain Involves the Affective but Not Sensory Components for Pain*, in «Science», 303, 2004, pp. 1157-62.

12. R. Adolphs, H. Damasio, D. Tranel, G. Cooper e A. Damasio, *A Role for Somatosensory Cortices in the Visual Recognition of Emotion as Revealed by Three-Dimensional Lesion Mapping*, in «Journal of Neuroscience», 20, 2000, pp. 2683-90.

5. EMOZIONI E SENTIMENTI

1. Martha C. Nussbaum, *Upheavals of Thought. The Intelligence of Emotions*, Cambridge University Press, Cambridge, 2001 [trad. it. di Rosamaria Scognamiglio, *L'intelligenza delle emozioni*, il Mulino, Bologna, 2009].

2. R.M. Sapolsky, *Why Zebras Don't Get Ulcers. An Updated Guide to Stress, Stress-related Diseases, and Coping*, W.H. Freeman, New York, 1998 [trad. it. di Alberto Pica, *Perché le zebre non si ammalano d'ulcera*, McGraw-Hill, Milano, 1999]; David Servan-Schreiber, *Guérir le stress, l'anxiété et la dépression sans médicaments ni psychanalyse*, Éditions Robert Laffont, Paris, 2003 [l'autore ha consultato la traduzione inglese, *The Instinct to Heal. Curing Stress, Anxiety, and Depression Without Drugs and Without Talk Therapy*, Rodale, Emmaus, Pa., 2004; il lettore italiano può fare riferimento alla traduzione di Edi Vesco, *Guarire. Una nuova strada per curare lo stress, l'ansia e la depressione senza farmaci né psicanalisi*, Sperling & Kupfer, Milano, 2004].

3. William James, *What Is an Emotion?*, in «Mind», 9, 1884, pp. 188-205.

4. W.B. Cannon, *The James-Lange Theory of Emotions. A Critical Examination and an Alternative Theory*, in «American Journal of Psychology», 39, 1927, pp. 106-24.

5. Damasio, *Descartes' Error*, cit.

6. A. Damasio, T. Grabowski, A. Bechara, H. Damasio, Laura L.B. Ponto, J. Parvizi e Richard D. Hichwa, *Subcortical and Cortical Brain Activity During the Feeling of Self-generated Emotions*, in «Nature Neuroscience», 3, 2000, pp. 1049-56.

7. A. Damasio, *Fundamental Feelings*, in «Nature», 413, 2001, p. 781; Damasio, *Looking for Spinoza*, cit.

8. Si veda A.D. Craig, *How Do You Feel – Now? The Anterior Insula and Human Awareness*, in «Nature Reviews Neuroscience», 10, 2009, pp. 59-70. Craig sostiene che la corteccia dell'insula fornisca il substrato per gli stati del sentire, corporei ed emozionali, e poi si spinge a ipotizzare che la consapevolezza stessa di tali stati abbia origine nell'insula. In diretto conflitto con l'ipotesi di Craig vi sono i dati che ho presentato nei capitoli 3 e 4, sulla palese persistenza dei sentimenti e della coscienza in seguito a lesioni dell'insula, e sulla probabile presenza di sentimenti nei bambini decorticati.

9. D. Rudrauf, J.P. Lachaux, A. Damasio, S. Baillet, L. Hugueville, J. Martinerie, H. Damasio e B. Renault, *Enter Feelings. Somatosensory Responses Following Early Stages of Visual Induction of Emotion*, in «International Journal of Psychophysiology», 72, 1, 2009, pp. 13-23; D. Rudrauf, O. David, J.P. Lachaux, C. Kovach, J. Martinerie, B. Renault e A. Damasio, *Rapid Interactions Between the Ventral Visual Stream and Emotion-Related Structures Rely on a Two-Pathway Architecture*, in «Journal of Neuroscience», 28, 11, 2008, pp. 2793-803.

10. L'espressione originale è *Quem vê caras não vê corações.*

11. Antonio Damasio, *Neuroscience and Ethics. Intersections*, in «American Journal of Bioethics», 7, 1, 2007, pp. 3-7.

12. M.H. Immordino-Yang, A. McColl, H. Damasio e A. Damasio, *Neural Correlates of Admiration and Compassion*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», 106, 19, 2009, pp. 8021-26.

13. J. Haidt, *The Emotional Dog and Its Rational Tail. A Social Intuitionist Approach to Moral Judgment*, in «Psychological Review», 108, 2001, pp. 814-34; Christopher Oveis, Adam B. Cohen, June Gruber, Michelle N. Shiota, Jonathan Haidt e Dacher Keltner, *Resting Respiratory Sinus Arrhythmia Is Associated with Tonic Positive Emotionality*, in «Emotion», 9, 2, aprile 2009, pp. 265-70.

1. Francis Scott Fitzgerald, *Tenera è la notte*, trad. it. di Fernanda Pivano, Einaudi, Torino, 1949, p. 152 [*N.d.T.*].

2. Kandel *et al.*, *Principles of Neural Science*, cit.; e E. Kandel, *In Search of Memory. The Emergence of a New Science of Mind*, W.W. Norton, New York, 2006 [trad. it. di Giuliana Olivero, *Alla ricerca della memoria. La storia di una nuova scienza della mente*, Codice, Torino, 2010].

3. A.R. Damasio, H. Damasio, D. Tranel e J.P. Brandt, *Neural Regionalization of Knowledge Access. Preliminary Evidence*, in «Symposia on Quantitative Biology», 55, 1990, pp. 1039-47; A. Damasio, D. Tranel e H. Damasio, *Face Agnosia and the Neural Substrates of Memory*, in «Annual Review of Neuroscience», 13, 1990, pp. 89-109.

4. Stephen M. Kosslyn, *Image and Mind*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.,1980.

5. A.R. Damasio, *Time-locked Multiregional Retroactivation. A Systems-level Proposal for the Neural Substrates of Recall and Recognition*, in «Cognition», 33, 1989, pp. 25-62. Il modello ZCD è stato incorporato nelle teorie cognitive. Si veda, per esempio, L.W. Barsalou, *Grounded Cognition*, in «Annual Review of Psychology», 59, 2008, pp. 617-45, e W.K. Simmons e L.W. Barsalou, *The Similarity-in-Topography Principle. Reconciling Theories of Conceptual Deficits*, in «Cognitive Neuropsychology», 20, 2003, pp. 451-86.

6. K.S. Rockland e D.N. Pandya, *Laminar Origins and Terminations of Cortical Connections of the Occipital Lobe in the Rhesus Monkey*, in «Brain Research», 179, 1979, pp. 3-20; G.W. Van Hoesen, *The Parahippocampal Gyrus. New Observations Regarding Its Cortical Connections in the Monkey*, in «Trends in Neuroscience», 5, 1982, pp. 345-50.

7. Patric Hagmann, Leila Cammoun, Xavier Gigandet, Reto Meuli, Christopher J. Honey, Van J. Wedeen e Olaf Sporns, *Mapping the Structural Core of Human Cerebral Cortex*, in «PloS Biology», 6, 7, 2008, p. e159. doi:10.1371/journal.pbio.0060159.

8. Alcune zone di convergenza legano i segnali relativi a diverse categorie dell'entità (per esempio il colore e la forma di uno strumento) e si trovano in cortecce associative localizzate

subito al di là (a valle) di cortecce la cui attività definisce rappresentazioni di caratteristiche. Negli esseri umani, nel caso di un'entità visiva, sono comprese le cortecce delle aree 37 e 39, a valle delle mappe generate nelle cortecce di ordine inferiore. Il loro livello, nella gerarchia anatomica, è relativamente basso. Altre ZCD legano i segnali relativi a combinazioni più complesse; per esempio, realizzano la definizione di certe classi di oggetti legando segnali relativi a forma, colore, suono, temperatura e odore. Queste ZCD sono collocate a un livello superiore nella gerarchia corticocorticale (per esempio all'interno dei settori anteriori delle aree 37, 39, 22 e 20). Esse rappresentano combinazioni di entità o di caratteristiche di varie entità, più che singole entità o singole caratteristiche. Le ZCD in grado di legare le entità all'interno di eventi sono situate al vertice dei flussi gerarchici, nelle regioni frontali e temporali collocate più anteriormente.

9. Kaspar Meyer e Antonio Damasio, *Convergence and Divergence in a Neural Architecture for Recognition and Memory*, in «Trends in Neurosciences», 32, 7, 2009, pp. 376-82.

10. G.A. Calvert, E.T. Bullmore, M.J. Brammer, R. Campbell, S.C.R. Williams, P.K. McGuire, P.W.R. Woodruff, S.D. Iversen e A.S. David, *Activation of Auditory Cortex During Silent Lip Reading*, in «Science», 276, 1997, pp. 593-96.

11. M. Kiefer, E.J. Sim, B. Herrnberger, J. Grothe e K. Hoenig, *The Sound of Concepts. Four Markers for a Link Between Auditory and Conceptual Brain Systems*, in «Journal of Neuroscience», 28, 2008, pp. 12224-30; J. González, A. Barros-Loscertales, F. Pulvermüller, V. Meseguer, A. Sanjuán, V. Belloch e C. Ávila, *Reading Cinnamon Activates Olfactory Brain Regions*, in «NeuroImage», 32, 2006, pp. 906-12; M.C. Hagen, O. Franzen, F. McGlone, G. Essick, C. Dancer e J.V. Pardo, *Tactile Motion Activates the Human Middle Temporal/V5 (MT/V5) Complex*, in «European Journal of Neuroscience», 16, 2002, pp. 957-64; K. Sathian, A. Zangaladze, J.M. Hoffman e S.T. Grafton, *Feeling with the Mind's Eye*, in «Neuroreport», 8, 1997, pp. 3877-81; A. Zangaladze, C.M. Epstein, S.T. Grafton e K. Sathian, *Involvement of Visual Cortex in Tactile Discrimination of Orientation*, in «Nature», 401, 1999, pp. 587-90; Y.-D. Zhou e J.M. Fuster, *Neuronal Activity of Somatosensory Cortex in a Cross-modal (Visuohaptic) Memory Task*, in «Experiments in Brain Research», 116, 1997, pp. 551-55; Y.-D. Zhou e J.M. Fuster, *Visuo-tactile*

Cross-modal Associations in Cortical Somatosensory Cells, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», 97, 2000, pp. 9777-82.

12. S.M. Kosslyn, G. Ganis e W.L. Thompson, *Neural Foundations of Imagery*, in «Nature Reviews Neuroscience», 2, 2001, pp. 635-42; Z. Pylyshyn, *Return of the Mental Image. Are There Really Pictures in the Brain?*, in «Trends in Cognitive Science», 7, 2003, pp. 113-18.

13. S.M. Kosslyn, W.L. Thompson, I.J. Kim e N.M. Alpert, *Topographical Representations of Mental Images in Primary Visual Cortex*, in «Nature», 378, 1995, pp. 496-98; S.D. Slotnick, W.L. Thompson e S.M. Kosslyn, *Visual Mental Imagery Induces Retinotopically Organized Activation of Early Visual Areas*, in «Cerebral Cortex», 15, 2005, pp. 1570-83; S.M. Kosslyn, A. Pascual-Leone, O. Felician, S. Camposano, J.P. Keenan, W.L. Thompson, G. Ganis, K.E. Sukel e N.M. Alpert, *The Role of Area 17 in Visual Imagery. Convergent Evidence from PET and rTMS*, in «Science», 284, 1999, pp. 167-70; M. Lotze e U. Halsband, *Motor Imagery*, in «Journal of Physiology», 99, 2006, pp. 386-95; K.M. O'Craven e N.Kanwisher, *Mental Imagery of Faces and Places Activates Corresponding Stimulus-specific Brain Regions*, in «Journal of Cognitive Neuroscience», 12, 2000, pp. 1013-23; M.J. Farah, *Is Visual Imagery Really Visual? Overlooked Evidence from Neuropsychology*, in «Psychological Review», 95, 1988, pp. 307-17.

14. V. Gallese, L. Fadiga, L. Fogassi e G. Rizzolatti, *Action Recognition in the Premotor Cortex*, in «Brain», 119, 1996, pp. 593-609; G. Rizzolatti e L. Craighero, *The Mirror-Neuron System*, in «Annual Review of Neuroscience», 27, 2004, pp. 169-92.

15. A. Damasio e K. Meyer, *Behind the Looking-Glass*, in «Nature», 454, 2008, pp. 167-68.

16. Moltissimi studi, riconducibili alla vasta letteratura sui neuroni specchio, sono compatibili con il modello ZCD: E. Kohler, C. Keysers, M.A. Umiltà, L. Fogassi, V. Gallese e G. Rizzolatti, *Hearing Sounds, Understanding Actions. Action Representation in Mirror Neurons*, in «Science», 297, 2002, pp. 846-48; C. Keysers, E. Kohler, M.A. Umiltà, L. Nanetti, L. Fogassi e V. Gallese, *Audiovisual Mirror Neurons and Action Recognition*, in «Experiments in Brain Research», 153, 2003, pp. 628-36; V. Raos, M.N. Evangeliou e H.E. Savaki, *Mental Simulation of Ac-*

tion in the Service of Action Perception, in «Journal of Neuroscience», 27, 2007, pp. 12675-83; D. Tkach, J. Reimer e N.G. Hatsopoulos, *Congruent Activity During Action and Action Observation in Motor Cortex*, in «Journal of Neuroscience», 27, 2007, pp. 13241-50; S.-J. Blakemore, D. Bristow, G. Bird, C. Frith e J. Ward, *Somatosensory Activations During the Observation of Touch and a Case of Vision-Touch Synaesthesia*, in «Brain», 128, 2005, pp. 1571-83; A. Lahav, E. Saltzman e G. Schlaug, *Action Representation of Sound. Audiomotor Recognition Network While Listening to Newly Acquired Actions*, «Journal of Neuroscience», 27, 2007, pp. 308-14; G. Buccino, F. Binkofski, G.R. Fink, L. Fadiga, L. Fogassi, V. Gallese, R.J. Seitz, K. Zilles, G. Rizzolatti e H.-J. Freund, *Action Observation Activates Premotor and Parietal Areas in a Somatotopic Manner. An fMRI Study*, in «European Journal of Neuroscience», 13, 2001, pp. 400-404; M. Iacoboni, L.M. Koski, M. Brass, H. Bekkering, R.P. Woods, M.-C. Dubeau, J.C. Mazziotta e G. Rizzolatti, *Reafferent Copies of Imitated Actions in the Right Superior Temporal Cortex*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», 98, 2001, pp. 13995-99; V. Gazzola, L. Aziz-Zadeh e C. Keysers, *Empathy and the Somatotopic Auditory Mirror System in Humans*, in «Current Biology», 16, 2006, pp. 1824-29; C. Catmur, V. Walsh e C. Heyes, *Sensorimotor Learning Configures the Human Mirror System*, in «Current Biology», 17, 2007, pp. 1527-31; C. Catmur, H. Gillmeister, G. Bird, R. Liepelt, M. Brass e C. Heyes, *Through the Looking Glass. Counter-Mirror Activation Following Incompatible Sensorimotor Learning*, in «European Journal of Neuroscience», 28, 2008, pp. 1208-15.

17. G. Kreiman, C. Koch e I. Fried, *Imagery Neurons in the Human Brain*, in «Nature», 408, 2000, pp. 357-61.

7. LA COSCIENZA OSSERVATA

1. Harold Bloom, *The Western Canon*, Harcourt Brace, New York, 1994 [trad. it. di Andrea Cortellessa, *Il canone occidentale*, BUR, Milano, 2008]; Harold Bloom, *Shakespeare. The Invention of the Human*, Riverhead, New York, 1998 [trad. it. di Roberta Zuppet, *Shakespeare. L'invenzione dell'uomo*, Mondolibri, Milano, 2001]; James Wood, *How Fiction Works*, Farrar, Straus and

Giroux, New York, 2008 [trad. it. di Massimo Parizzi, *Come funzionano i romanzi*, Mondadori, Milano, 2011].

2. Tra le recenti *reviews* sull'approccio delle neuroscienze allo studio della coscienza, raccomando *The Neurology of Consciousness*, a cura di Steven Laureys e Giulio Tononi, Elsevier, London, 2008. Il già citato Posner *et al.*, *Plum and Posner's Diagnosis of Stupor and Coma*, raccoglie rassegne sugli aspetti clinici della coscienza. Si vedano anche, per una recente analisi della letteratura clinica rilevante, Todd E. Feinberg, *Altered Egos. How the Brain Creates the Self*, Oxford University Press, New York, 2001; e A.R. Damasio, *Consciousness and Its Disorders*, in *Diseases of the Nervous System. Clinical Neuroscience and Therapeutic Principles*, a cura di Arthur K. Asbury, G. McKhann, I. McDonald, P.J. Goadsby e J. McArthur, 2 voll., terza ediz., Cambridge University Press, New York, 2002, vol. II, pp. 289-301.

3. Adrian Owen, *Detecting Awareness in the Vegetative State*, in «Science», 313, 2006, p. 1402.

4. Adrian Owen e Steven Laureys, *Willful Modulation of Brain Activity in Disorders of Consciousness*, in «New England Journal of Medicine», 362, 2010, pp. 579-89.

5. Damasio, *The Feeling of What Happens*, cit.

6. Damasio, *The Somatic Marker Hypothesis and the Possible Functions of the Prefrontal Cortex*, cit.

7. Sigmund Freud, *Some Elementary Lessons in Psychoanalysis*, in «International Journal of Psycho-Analysis», 21, 1940 [trad. it. di Renata Colorni, *Alcune lezioni elementari di psicoanalisi*, in *L'uomo Mosè e la religione monoteistica. Tre saggi*, Boringhieri, Torino, 1977].

8. Richard F. von Krafft-Ebing, *Psychopathia Sexualis*, Ferdinand Enke, Stuttgart, 1886 [trad. it. di Piero Giolla, *Psychopathia Sexualis*, Manfredi, Milano, 1957].

9. Per le loro considerazioni profonde sulla mente e la coscienza nel sonno e durante i sogni, raccomando Allan Hobson, *Dreaming. An Introduction to the Science of Sleep*, Oxford University Press, New York, 2002; e Llinás, *I of the Vortex*, cit.

1. Bernard Baars è un buon esempio di questo approccio, di cui si sono proficuamente avvalsi Changeux e Dehaene. Si veda S. Dehaene, M. Kerszberg e J.-P. Changeux, *A Neuronal Model of a Global Workspace in Effortful Cognitive Tasks*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», 95, 24, 1998, pp. 14529-34. Anche Edelman e Tononi si sono accostati alla coscienza da questa prospettiva. Si veda Gerald M. Edelman e Giulio Tononi, *A Universe of Consciousness. How Matter Becomes Imagination*, Basic Books, New York, 2000 [trad. it. di Silvio Ferraresi, *Un universo di coscienza. Come la materia diventa immaginazione*, Einaudi, Torino, 2000]. Analogamente, la ricerca di Crick e Koch si concentra sugli aspetti mentali della coscienza e ammette esplicitamente che il sé non è parte del suo programma. Si veda F. Crick e C. Koch, *A Framework for Consciousness*, in «Nature Neuroscience», 6, 2, 2003, pp. 119-26.

2. Sto pensando, qui, ai seguenti studi, di estrema importanza: Moruzzi e Magoun, *Brain Stem Reticular Formation and Activation of the EEG*, cit.; e Penfield e Jasper, *Epilepsy and the Functional Anatomy of the Human Brain*, cit.

3. «Sentire ciò che accade»: richiamo di Damasio al titolo del proprio volume *The Feeling of What Happens*, tradotto in italiano con *Emozione e coscienza* [*N.d.T.*].

4. Come ho affermato nella nota 18 del capitolo 1, anche Panksepp enfatizza il concetto di «primi sentimenti», senza i quali il processo della coscienza non può svilupparsi. Sebbene i dettagli del meccanismo non siano gli stessi, io credo che l'idea, nella sua essenza, sia quella. Molto spesso la trattazione dei sentimenti parte dal presupposto che essi insorgano da interazioni con il mondo esterno (come nei «sentimenti di conoscenza» di James, o nel mio «sentire ciò che accade»), oppure come conseguenza delle emozioni. I sentimenti primordiali, però, precedono quelle situazioni, come presumibilmente le precedono anche i primi sentimenti di cui parla Panksepp.

5. L.W. Swanson, *The Hypothalamus*, in *Handbook of Chemical Neuroanatomy*, vol. V, *Integrated systems of the CNS*, a cura di A. Björklund, T. Hökfelt e L.W. Swanson, Elsevier, Amsterdam, 1987.

6. Parvizi e Damasio, *Consciousness and the Brainstem*, cit. Si ve-

da, a tal proposito, l'estesa discussione contenuta in Damasio, *The Feeling of What Happens*, cit.

7. Bernard J. Baars, *Global Workspace Theory of Consciousness. Toward a Cognitive Neuroscience of Human Experience*, in «Progress in Brain Research», 150, 2005, pp. 45-53; D.L. Sheinberg e N.K. Logothetis, *The Role of Temporal Cortical Areas in Perceptual Organization*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», 94, 7, 1997, pp. 3408-13; S. Dehaene, L. Naccache, L. Cohen *et al.*, *Cerebral Mechanisms of Word Masking and Unconscious Repetition Priming*, in «Nature Neuroscience», 4, 7, 2001, pp. 752-58.

8. Come osservato nel capitolo 5, i contributi di A.D. Craig per quanto riguarda il midollo spinale e gli aspetti corticali del sistema sono particolamente meritevoli di attenzione: A.D. Craig, *How Do You Feel? Interoception. The Sense of the Physiological Condition of the Body*, in «Nature Reviews Neuroscience», 3, 2002, pp. 655-66.

9. K. Meyer, *How Does the Brain Localize the Self?*, in «Science E-letters», 2008, consultabile all'indirizzo: www.usc.edu/schools/college/bci/documents/Meyer2008Science.pdf. Si vedano anche B. Leggenhager, T. Tadi, T. Metzinger e O. Blanke, *Video Ergo Sum. Manipulating Bodily Self-Consciousness*, in «Science», 317, 2007, p. 1096; e H.H. Ehrsson, *The Experimental Induction of Out-of-Body Experiences*, in «Science», 317, 2007, p. 1048.

10. Michael Gazzaniga, *The Mind's Past*, University of California Press, Berkeley, 1998.

11. Il mio interesse per i collicoli superiori risale a metà degli anni Ottanta. Ancor più affascinato dai collicoli era Bernard Strehler, con il quale ho discusso l'argomento in diverse occasioni. In tempi più recenti, Bjorn Merker ha presentato un quadro convincente di questa struttura come qualcosa di più di un semplice ausilio alla visione. Bernard M. Strehler, *Where Is the Self? A Neuroanatomical Theory of Consciousness*, in «Synapse», 7, 1991, pp. 44-91; Merker, *Consciousness Without a Cerebral Cortex*, cit. Anche Jaak Panksepp, nella sua discussione sull'importanza del grigio periacqueduttale, ha richiamato l'attenzione sui collicoli.

12. La costruzione della prospettiva sensoriale risulterebbe dalla combinazione delle immagini dei pellicani, appena for-

mate, con l'attività dei portali sensoriali impegnati dall'interazione fra oggetto e organismo. L'attività dei portali sensoriali sarebbe legata alle immagini dell'oggetto attraverso la sincronizzazione delle attività legate a ciascuna serie di immagini. Il legame critico sarebbe dunque temporale, e non spaziale. Il senso di azione e il senso di possesso della propria mente deriverebbero da un meccanismo simile, il quale lega, nel tempo, le attività pertinenti a nuove immagini di oggetti con quelle che definiscono i cambiamenti avvenuti nel protosé a livello di mappe enterocettive, portali sensoriali e rappresentazioni dell'apparato muscoloscheletrico. Il grado di coesione fra queste componenti dipenderebbe dagli aspetti temporali della loro gestione.

9. IL SÉ AUTOBIOGRAFICO

1. C. Koch e F. Crick, *What Is the Function of the Claustrum?*, in «Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences», 360, 1458, 2005, pp. 1271-79.

2. R.J. Maddock, *The Retrosplenial Cortex and Emotion. New Insights from Functional Neuroimaging of the Human Brain*, in «Trends in Neurosciences», 22, 1999, pp. 310-16; R. Morris, G. Paxinos e M. Petrides, *Architectonic Analysis of the Human Retrosplenial Cortex*, in «Journal of Comparative Neurology», 421, 2000, pp. 14-28; per una *review*, si veda A.E. Cavanna e M.R. Trimble, *The Precuneus. A Review of Its Functional Anatomy and Behavioural Correlates*, in «Brain», 129, 2006, pp. 564-83.

3. J. Parvizi, G.W. Van Hoesen, J. Buckwalter e A.R. Damasio, *Neural Connections of the Posteromedial Cortex in the Macaque*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», 103, 2006, pp. 1563-68.

4. Hagmann *et al.*, *Mapping the Structural Core of Human Cerebral Cortex*, cit.

5. Pierre Fiset, Tomás Paus, Thierry Daloze, Gilles Plourde, Pascal Meuret, Vincent Bohnomme, Nadine Hajj-Ali, Steven B. Backman e Alan C. Evans, *Brain Mechanisms of Propofol-induced Loss of Consciousness in Humans. A Positron Emission Tomographic Study*, in «Journal of Neuroscience», 19, 2009, pp.

5506-13; M.T. Alkire e J. Miller, *General Anesthesia and the Neural Correlates of Consciousness*, in «Progress in Brain Research», 150, 2005, pp. 229-44. L'efficace soppressione della coscienza prodotta dal propofol non è poi molto distante da una totale soppressione della vita: questa è una delle ragioni per cui occorre monitorare con grande attenzione gli effetti di questo farmaco. Sembra che Michael Jackson sia morto a causa di un sovradosaggio di propofol, o forse per via di un'infelice combinazione di quest'ultimo con altri medicinali attivi sul sistema nervoso centrale.

6. Pierre Maquet, Christian Degueldre, Guy Delfiore, Joël Aerts, Jean-Marie Péters, André Luxen e Georges Franck, *Functional Neuroanatomy of Human Slow Wave Sleep*, in «Journal of Neuroscience», 17, 1997, pp. 2807-12; P. Maquet *et al.*, *Human Cognition During REM Sleep and the Activity Profile Within Frontal and Parietal Cortices. A Reappraisal of Functional Neuroimaging Data*, in «Progress in Brain Research», 150, 2005, pp. 219-27; M. Massimini *et al.*, *Breakdown of Cortical Effective Connectivity During Sleep*, in «Science», 309, 2005, pp. 2228-32.

7. D.A. Gusnard e M.E. Raichle, *Searching for a Baseline. Functional Imaging and the Resting Human Brain*, in «Nature Reviews Neuroscience», 2, 2001, pp. 685-94.

8. Antonio R. Damasio, Thomas J. Grabowski, Antoine Bechara, Hanna Damasio, Laura L.B. Ponto, Josef Parvizi e Richard D. Hichwa, *Subcortical and Cortical Brain Activity During the Feeling of Self-generated Emotions*, in «Nature Neuroscience», 3, 2000, pp. 1049-56.

9. R.L. Buckner e Daniel C. Carroll, *Self-projection and the Brain*, in «Trends in Cognitive Sciences», 11, 2, 2006, pp. 49-57; R.L. Buckner, J.R. Andrews-Hanna e D.L. Schacter, *The Brain's Default Network. Anatomy, Function, and Relevance to Disease*, in «Annals of the New York Academy of Sciences», 1124, 2008, pp. 1-38; M.H. Immordino-Yang, A. McColl, H. Damasio *et al.*, *Neural Correlates of Admiration and Compassion*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», 106, 19, 2009, pp. 8021-26; R.L. Buckner *et al.*, *Cortical Hubs Revealed by Intrinsic Functional Connectivity. Mapping, Assessment of Stability, and Relation to Alzheimer's Disease*, in «Journal of Neuroscience», 29, 2009, pp. 1860-73.

10. M.E. Raichle e M.A. Mintun, *Brain Work and Brain Imaging*,

in «Annual Review of Neuroscience», 29, 2006, pp. 449-76; M.D. Fox *et al.*, *The Human Brain Is Intrinsically Organized into Dynamic, Anticorrelated Functional Networks*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», 102, 2005, pp. 9673-78.

11. B.T. Hyman, G.W. Van Hoesen e A.R. Damasio, *Cell-specific Pathology Isolates the Hippocampal Formation*, in «Science», 225, 1984, pp. 1168-70; G.W. Van Hoesen, B.T. Hyman e A.R. Damasio, *Cellular Disconnection Within the Hippocampal Formation as a Cause of Amnesia in Alzheimer's*, in «Neurology», 34, 3, 1984, pp. 188-89; G.W. Van Hoesen e A. Damasio, *Neural Correlates of Cognitive Impairment in Alzheimer's Disease*, in *Handbook of Physiology, Higher Functions of the Brain*, a cura di V. Mountcastle e F. Plum, American Physiological Society, Bethesda, Md., 1987.

12. J. Parvizi, G.W. Van Hoesen e A.R. Damasio, *Selective Pathological Changes of the Periaqueductal Gray in Alzheimer's Disease*, in «Annals of Neurology», 48, 2000, pp. 344-53; J. Parvizi, G.W. Van Hoesen e A. Damasio, *The Selective Vulnerability of Brainstem Nuclei to Alzheimer's Disease*, in «Annals of Neurology», 49, 2001, pp. 53-66.

13. R.L. Buckner *et al.*, *Molecular, Structural, and Functional Characterization of Alzheimer's Disease. Evidence for a Relationship Between Default Activity, Amyloid, and Memory*, in «Journal of Neuroscience», 25, 2005, pp. 7709-17; S. Minoshima *et al.*, *Metabolic Reduction in the Posterior Cingulate Cortex in Very Early Alzheimer's Disease*, in «Annals of Neurology», 42, 1997, pp. 85-94.

14. Curiosamente, il coinvolgimento della CPM nella malattia di Alzheimer è un risultato acquisito da tempo – era già stato rilevato nel 1976 –, ma trascurato. Si veda A. Brun e L. Gustafson, *Distribution of Cerebral Degeneration in Alzheimer's Disease*, in «European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience», 223, 1, 1976. Brun e Gustafson avevano richiamato l'attenzione sul notevole contrasto esistente fra la corteccia – intatta – del cingolo anteriore (solitamente risparmiata dall'Alzheimer), e la corteccia del cingolo posteriore, dove sono presenti abbondanti rilievi patologici. All'epoca i due autori non potevano sapere che, nel corso della malattia, i grovigli neurofibrillari a livello della CPM si presentavano successivamente rispetto al danno temporale anteriore; né sapevano quello che sappiamo noi oggi sulla struttura interna della CPM e sul suo peculiare schema di connessione. Si vedano A.

Brun e E. Englund, *Regional Pattern of Degeneration in Alzheimer's Disease. Neuronal Loss and Histopathological Grading*, in «Histopathology», 5, 1981, pp. 549-64; A. Brun e L. Gustafson, *Limbic Involvement in Presenile Dementia*, in «Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten», 226, 1978, pp. 79-93.

15. G.W. Van Hoesen, B.T. Hyman e A.R. Damasio, *Entorhinal Cortex Pathology in Alzheimer's Disease*, in «Hippocampus», I, 1991, pp. 1-8.

16. Randy Buckner e i suoi colleghi hanno descritto questa possibilità denominandola «ipotesi metabolica». Il gruppo di Buckner ha anche presentato evidenze stringenti, ottenute con tecniche di neuroimmagine funzionale, del fatto che, con il progredire dell'Alzheimer, la CPM presenta una pronunciata riduzione del metabolismo del glucosio.

17. J.D. Bauby, *Le Scaphandre et le papillon*, Éditions Robert Laffont, Paris, 1997 [trad. it. di Benedetta Pagni Frette, *Lo scafandro e la farfalla*, Ponte alle Grazie, Milano, 1997; il film tratto dal libro è stato distribuito in Italia nel 2008].

18. S. Laureys *et al.*, *Differences in Brain Metabolism Between Patients in Coma, Vegetative State, Minimally Conscious State and Locked-in Syndrome*, in «European Journal of Neurology», 10, suppl. I, 2003, pp. 224-25; e S. Laureys, *The Neural Correlate of (Un)awareness. Lessons from the Vegetative State*, in «Trends in Cognitive Sciences», 9, 2005, pp. 556-59.

19. S. Laureys, M. Boly e P. Maquet, *Tracking the Recovery of Consciousness from Coma*, in «Journal of Clinical Investigation», 116, 2006, pp. 1823-25.

20. A.D. Craig, *How Do You Feel – Now? The Anterior Insula and Human Awareness*, in «Nature Reviews Neuroscience», 10, 2009, pp. 59-70.

10. OGNI PEZZO AL SUO POSTO

1. Posner *et al.*, *Plum and Posner's Diagnosis of Stupor and Coma*, cit.

2. J. Parvizi e A.R. Damasio, *Neuroanatomical Correlates of Brainstem Coma*, in «Brain», 126, 2003, pp. 1524-36.

3. Moruzzi e Magoun, *Brain Stem Reticular Formation and Activation of the EEG*, cit.; J. Olszewski, *Cytoarchitecture of the Human Reticular Formation*, in *Brain Mechanisms and Consciousness*, a cura di J.F. Delafresnaye *et al.*, Charles C. Thomas, Springfield, Ill., 1954; A. Brodal, *The Reticular Formation of the Brain Stem. Anatomical Aspects and Functional Correlations*, William Ramsay Henderson Trust, Edinburgh, 1959; A.N. Butler e W. Hodos, *The Reticular Formation*, in *Comparative Vertebrate Neuroanatomy. Evolution and Adaptation*, a cura di Ann B. Butler e William Hodos, Wiley-Liss, New York, 1996; e W. Blessing, *Inadequate Frameworks for Understanding Bodily Homeostasis*, in «Trends in Neurosciences», 20, 1997, pp. 235-39.

4. J. Parvizi e A. Damasio, *Consciousness and the Brainstem*, in «Cognition», 49, 2001, pp. 135-59.

5. E.G. Jones, *The Thalamus*, seconda ediz., Cambridge University Press, New York, 2007; Llinás, *I of the Vortex*, cit.; M. Steriade e M. Deschenes, *The Thalamus as a Neuronal Oscillator*, in «Brain Research», 320, 1984, pp. 1-63; M. Steriade, *Arousal. Revisiting the Reticular Activating System*, in «Science», 272, 1992, pp. 225-26.

6. E.G. Jones, A. Peters e John H. Morrison, a cura di, *Cerebral Cortex*, Springer, New York, 1999, è un'importante raccolta di articoli contenente un'estesa rassegna degli aspetti fondamentali dell'anatomia e della fisiologia della corteccia cerebrale.

7. Diversi filosofi contemporanei che hanno trattato il problema mente-corpo hanno affrontato, in un modo o nell'altro, la questione dei qualia. Le seguenti opere mi sono state particolarmente utili: John R. Searle, *The Mystery of Consciousness*, New York Review Books, New York, 1990; Patricia Churchland, *Neurophilosophy. Toward a Unified Science of the Mind-Brain*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1989; R. McCauley, a cura di, *The Churchlands and their Critics*, Wiley-Blackwell, New York, 1996; D. Dennet, *Consciousness Explained*, Little, Brown, New York, 1992 [trad. it. di Lauro Colasanti, *Coscienza*, Rizzoli, Milano, 1993]; Simon Blackburn, *Think. A Compelling Introduction to Philosophy*, Oxford University Press, Oxford, 1999 [trad. it. di Salvatore Romano, *Pensa*, Il Saggiatore, Milano, 2001]; Ned Block, a cura di, *The Nature of Consciousness. Philosophical Debates*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1997; Owen Flanagan,

The Really Hard Problem. Meaning in a Material World, MIT Press, Cambridge, Mass., 2007; T. Metzinger, *Being No One. The Self-Model Theory of Subjectivity*, MIT Press, Cambridge, Mass., 2003; Chalmers, *The Conscious Mind*, cit.; Galen Strawson, *The Self*, in «Journal of Consciousness Studies», 4, 1997, pp. 405-28; e Thomas Nagel, *What Is it Like to Be a Bat?*, in «Philosophical Review», 1974, pp. 435-50 [trad. it. *Che cosa si prova a essere un pipistrello?*, in Douglas R. Hofstadter e Daniel C. Dennett, *L'io della mente. Fantasie e riflessioni sul sé e sull'anima*, Adelphi, Milano, 1985, pp. 379-91].

8. Llinás, *I of the Vortex*, cit.

9. N.D. Cook, «*The Neuron-level Phenomena Underlying Cognition and Consciousness. Synaptic Activity and the Action Potential*, in «Neuroscience», 153, 2008, pp. 556-70.

10. Penrose, *The Emperor's New Mind*, cit.; Hameroff, *Quantum Computation in Brain Microtubules? The Penrose-Hameroff «Orch OR» Model of Consciousness*, cit.

11. D.T. Kemp, *Stimulated Acoustic Emissions from Within the Human Auditory System*, in «Journal of the Acoustical Society of America», 64, 5, 1978, pp. 1386-91.

12. Uno degli aspetti sconcertanti del problema dei qualia II ruota intorno a un presupposto, e cioè che i neuroni, essendo simili fra loro, non sarebbero in grado di produrre stati neurali qualitativamente differenti. Si tratta tuttavia di un'argomentazione fallace. Certo, il funzionamento generale dei neuroni è formalmente simile, ma i neuroni appartenenti a sistemi sensoriali distinti sono enormemente diversi. Comparsi in epoche diverse dell'evoluzione, con ogni probabilità differiscono anche per il profilo delle loro attività. I neuroni coinvolti nella percezione di aspetti del corpo, poi, potrebbero benissimo avere caratteristiche speciali importanti nella genesi dei sentimenti. Inoltre, le modalità della loro interazione con altre regioni, anche all'interno dello stesso complesso corticale sensoriale, variano moltissimo.

Stiamo appena cominciando a capire i microcircuiti dei nostri dispositivi sensoriali periferici, e sappiamo ancor meno sui microcircuiti delle stazioni sottocorticali e delle aree corticali che generano mappe utilizzando i dati iniziali prodotti da tali dispositivi. Sappiamo ancora pochissimo sulla connettività esistente fra quelle stazioni separate, e soprattutto sulle

connessioni orientate in senso inverso, ossia dal cervello alla periferia. Per quale motivo, per esempio, la corteccia visiva primaria (V, o area 17) invia al nucleo genicolato laterale una quantità di proiezioni maggiore rispetto a quelle che lo stesso nucleo le invia di rimando? Questo è un fatto ben strano, giacché la funzione del cervello consiste nel raccogliere segnali *dal* mondo esterno e nel portarli all'interno delle proprie strutture. Queste vie «discendenti, dirette verso l'esterno» devono perciò compiere qualche operazione utile, altrimenti sarebbero state eliminate nel corso dell'evoluzione; rimangono tuttavia senza spiegazione. La classica giustificazione delle proiezioni «all'indietro» invoca una correzione del segnale effettuata attraverso un *feedback*; ma perché questa dovrebbe essere l'unica spiegazione? All'interno della corteccia cerebrale, io credo che le retroproiezioni funzionino da «retroattivatori», come ho proposto nel quadro generale della convergenza-divergenza. Possiamo chiederci, per esempio, se oltre a tutti i segnali provenienti dal globo oculare e dai tessuti immediatamente circostanti, il cervello riceva anche segnali diversi da quelli visivi inviati dalla retina (per esempio informazioni somatosensoriali). La comprensione di questi ulteriori aspetti potrebbe offrire un contributo sostanziale per spiegare come mai vedere il colore rosso sia un'esperienza diversa dall'udire il suono di un violoncello o dall'annusare un formaggio.

11. VIVERE CON LA COSCIENZA

1. Esiste un vasto corpus di letteratura dedicato al commento di questi risultati, a cominciare dai seguenti articoli: H.H. Kornhuber e L. Deecke, *Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen. Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale*, in «Pflugers Arckiv für Gesamte Psychologie», 284, 1965, pp. 1-17; B. Libet, C.A. Gleason, E.W. Wright e D.K. Pearl, *Time of Conscious Intention to Act in Relation to Onset of Cerebral Activity (Readiness-potential)*, in «Brain», 106, 1983, pp. 623-43; B. Libet, *Unconscious Cerebral*

Initiative and the Role of Conscious Will in Voluntary Action, in «Behavior and Brain Sciences», 8, 1985, pp. 529-66.

Altri importanti contributi alla letteratura su questi temi comprendono: D.M. Wegner, *The Illusion of Conscious Will*, MIT Press, Cambridge, Mass., 2002; P. Haggard e M. Eimer, *On the Relationship Between Brain Potentials and the Awareness of Voluntary Movements*, in «Experimental Brain Research», 126, 1999, pp. 128-33; C.D. Frith, K. Friston, P.F. Liddle e R.S.J. Frackowiak, *Willed Action and the Prefrontal Cortex in Man. A Study with PET*, in «Proceedings of the Royal Society of London, Series B», 244, 1991, pp. 241-46; R.E. Passingham, J.B. Rowe e K. Sakai, *Prefrontal Cortex and Attention to Action*, in *Attention in Action*, a cura di G. Humphreys e M. Riddoch, Psychology Press, New York, 2005.

2. Un'analisi critica molto ben argomentata su questo problema è quella di C. Suhler e P. Churchland, *Control. Conscious and Otherwise*, in «Trends in Cognitive Sciences», 13, 2009, pp. 341-47. Si vedano anche J.A. Bargh, M. Chen e L. Burrows, *Automaticity of Social Behavior. Direct Effects of Trait Construct and Stereotype Activation on Action*, in «Journal of Personality and Social Psychology», 71, 1996, pp. 230-44; R.F. Baumeister *et al.*, *Self-regulation and the Executive Function. The Self as Controlling Agent*, in *Social Psychology. Handbook of Basic Principles*, seconda ediz., a cura di A. Kruglanski e E. Higgins, Guilford Press, New York, 2007; R. Poldrack *et al.*, *The Neural Correlates of Motor Skill Automaticity*, in «Journal of Neuroscience», 25, 2005, pp. 5356-64.

3. S. Gallagher, *Where's the Action? Epiphenomenalism and the Problem of Free Will*, in *Does Consciousness Cause Behavior?*, a cura di Susan Pockett, William P. Banks e Shaun Gallagher, MIT Press, Cambridge, Mass., 2009.

4. Ap Dijksterhuis, *On Making the Right Choice. The Deliberation-without-Attention Effect*, in «Science», 311, 2006, p. 1005.

5. A. Bechara, A.R. Damasio, H. Damasio e S.W. Anderson, *Insensitivity to Future Consequences Following Damage to Prefrontal Cortex*, in «Cognition», 50, 1994, pp. 7-15; A. Bechara, H. Damasio, D. Tranel e A.R. Damasio, *Deciding Advantageously Before Knowing the Advantageous Strategy*, in «Science», 275, 1997, pp. 1293-94.

6. Una serie di esperimenti condotti recentemente nel labo-

ratorio di Alan Cowey conferma che nel nostro esperimento sui mazzi di carte la scelta della strategia vincente era elaborata a livello non cosciente. N. Persaud, P. McLeod e A. Cowey, *Post-decision Wagering Objectively Measures Awareness*, in «Nature Neuroscience», 10, 2, 2007, pp. 257-61.

7. D. Kahneman, *Maps of Bounded Rationality. Psychology for Behavioral Economists*, in «American Economic Review», 93, 2003, pp. 1449-75; D. Kahneman e S. Frederick, *Frames and Brains. Elicitation and Control of Response Tendencies*, in «Trends in Cognitive Science», 11, 2007, pp. 45-46; Jason Zweig, *Your Money and Your Brain. How the New Science of Neuroeconomics Can Help Make You Rich*, Simon and Schuster, New York, 2007; e J. Lehrer, *How We Decide*, Houghton Mifflin, New York, 2009 [trad. it. di Susanna Bourlot, *Come decidiamo*, Codice, Torino, 2009].

8. Elizabeth A. Phelps, Christopher J. Cannistraci e William A. Cunningham, *Intact Performance on an Indirect Measure of Race Bias Following Amygdala Damage*, in «Neuropsychologia», 41, 2, 2003, pp. 203-208; N.N. Oosterhof e A. Todorov, *The Functional Basis of Face Evaluation*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», 105, 2008, pp. 11087-92. Il tema del pregiudizio non cosciente è trattato bene anche in qualche intelligente testo divulgativo.

9. Wegner, *The Illusion of Conscious Will*, cit.

10. T.H. Huxley, *On the Hypothesis That Animals Are Automata, and Its History*, in «Fortnightly Review», 16, 1874, pp. 555-80; poi ristampato in *Methods and Results. Essays by Thomas H. Huxley*, D. Appleton, New York, 1898.

11. La The McArthur Foundation ha lanciato un ambizioso progetto su neuroscienze e legge, sostenuto da un grande consorzio di istituzioni. Sotto la guida di Michael Gazzaniga, esso mira a studiare, dibattere e indagare alcuni di questi temi alla luce delle neuroscienze contemporanee.

12. Ricerche pertinenti, eseguite dal nostro gruppo, sono descritte nei seguenti contributi: S.W. Anderson, A. Bechara, H. Damasio, D. Tranel e A.R. Damasio, *Impairment of Social and Moral Behavior Related to Early Damage in Human Prefrontal Cortex*, in «Nature Neuroscience», 2, 11, 1999, pp. 1032-37; M. Koenigs, L. Young, R. Adolphs, D. Tranel, M. Hauser, F. Cushman e A. Damasio, *Damage to the Prefrontal Cortex Increases*

Utilitarian Moral Judgments, in «Nature», 446, 2007, pp. 908-11; A. Damasio, *Neuroscience and Ethics. Intersections*, in «American Journal of Bioethics», 7, 2007, I, pp. 3-7; L. Young, A. Bechara, D. Tranel, H. Damasio, M. Hauser e A. Damasio, *Damage to Ventromedial Prefrontal Cortex Impairs Judgment of Harmful Intent*, in «Neuron», 65, 6, 2010, pp. 845-51.

13. Jaynes, *The Origin of Consciousness in the Breakdown of the Bicameral Mind*, cit.

14. Due libri recenti e molto diversi presentano un'intelligente lettura delle origini, dello sviluppo storico e delle basi biologiche del pensiero religioso: Richard Wright, *The Evolution of God*, Little, Brown, New York, 2009; e Nicholas Wade, *The Faith Instinct*, Penguin Press, New York, 2009.

15. W.H. Durham, *Co-evolution. Genes, Culture and Human Diversity*, Stanford University Press, Palo Alto, Calif., 1991; C. Holden e R. Mace, *Phylogenetic Analysis of the Evolution of Lactose Digestion in Adults*, in «Human Biology», 69, 1997, pp. 605-28; Kevin N. Laland, John Odling-Smee e Sean Myles, *How Culture Shaped the Human Genome. Bringing Genetics and the Human Sciences Together*, in «Nature Reviews Genetics», 11, 2010, pp. 137-48.

16. Il biologo E.O. Wilson fu il primo a richiamare l'attenzione sull'importanza di questi aspetti da un punto di vista evolutivo. Denis Dutton ne fornisce un elenco esteso nel suo *The Art Instinct. Beauty, Pleasure, and Human Evolution*, Bloomsbury Press, New York, 2009. Anche Dutton presenta le origini delle arti da una prospettiva biologica, tuttavia egli lo fa ponendo l'accento sugli aspetti cognitivi, io sull'omeostasi.

17. T.S. Eliot, *The Four Quartets*, Harcourt Books, New York, 1968. Le parole citate sono gli ultimi tre versi della prima parte di «Burnt Norton» [trad. it. di Filippo Donini, *Quattro quartetti*, Garzanti, Milano, 1994, p. 7].

RINGRAZIAMENTI

Gli architetti spiegheranno che Dio ha creato la natura e loro hanno fatto tutto il resto: un buon modo per ricordare che i luoghi e gli spazi, a prescindere dal fatto che siano naturali o costruiti dall'uomo, hanno un'enorme importanza nel determinare chi siamo e che cosa facciamo. Ho cominciato questo libro a Parigi, in una mattina d'inverno, poi ho scritto la maggior parte del testo a Malibu, nel corso di due estati successive, e adesso, mentre scrivo queste righe e rivedo le bozze, è ancora estate, e mi trovo a East Hampton. Poiché i luoghi contano, il mio primo grazie di cuore è per Parigi, sempre festosa – e per la neve e il grigio, non fa nulla; un grazie anche a Cori e a Dick Lowe, per il paradiso che hanno creato sul Pacifico (con qualche aiuto da parte di Richard Neutra); e, infine, grazie a Courtney Ross e alla diversissima versione di paradiso che ha realizzato sull'altra costa, con il suo gusto squisito.

Lo scenario di un libro di scienze, tuttavia, va ben oltre il senso del luogo in cui esso nasce. Nel mio caso è molto legato ai colleghi e agli studenti che ho avuto la fortuna di incontrare alla University of Southern California: sia all'interno del Brain and Creativity Institute, sia al Dornsife Cognitive Neuroscience Imaging Center, e anche in diversi altri dipartimenti e facoltà della USC. La mia riconoscenza, quindi, va alla direzione del College of Letters, Arts and Sciences della USC; a

Dana e David Dornsife; e a Lucy Billingsley, il cui aiuto è stato essenziale per dare vita al nostro ambiente intellettuale quotidiano. Devo rivolgere un grazie ugualmente importante alle agenzie che hanno finanziato le ricerche rendendo possibile il nostro lavoro, in modo particolare il National Institute for Neurological Disorders and Stroke e la Mathers Foundation.

Alcuni colleghi e amici hanno letto l'intero manoscritto o alcune sue parti, mi hanno offerto dei suggerimenti e hanno discusso nei dettagli la sostanza delle idee che vi sono esposte. Essi sono: Hanna Damasio, Kaspar Meyer, Charles Rockland, Ralph Greenspan, Caleb Finch, Michael Quick, Manuel Castells, Mary Helen Immordino-Yang, Jonas Kaplan, Antoine Bechara, Rebecca Rickman, Sidney Harman e Bruce Adolphe. Molte altre persone sono state così gentili da leggere il testo condividendo reazioni e offrendo suggerimenti. Essi sono: Ursula Bellugi, Michael Carlisle, Patricia Churchland, Maria de Sousa, Helder Filipe, Stephan Heck, Siri Hustvedt, Jane Isay, Jonah Lehrer, Yo-Yo Ma, King-son Man, Josef Parvizi, Peter Sacks, Julião Sarmento, Peter Sellars, Daniel Tranel, Koen van Gulik e Bill Viola. La mia riconoscenza va a tutti loro, per la saggezza, la franchezza e la generosità che mi hanno dimostrato. Le omissioni e i difetti che rimangono nel testo sono responsabilità mia e non loro.

Dan Frank, mio editor alla Pantheon, è un uomo dalle molte anime professionali, almeno tre delle quali sono in grado di riconoscere: il filosofo, lo scienziato e il romanziere. Ciascuna di esse affiorava, in base alla necessità del momento, per dispensare consigli garbati ma autorevoli sul manoscritto. Gli sono grato di quei consigli, della pazienza con cui ha aspettato le mie correzioni puntigliose, e della fermezza con cui ha sfrondato gli eccessi della mia prosa (queste righe sono un esempio del materiale che Dan avrebbe demolito volentieri, in un processo noto come «danfrankizzazione»). Come sempre, sono grato a Michael Carlisle, amico da una vita, fratello adottivo e agente, per la sua saggezza, la sua intelligenza e la sua lealtà.

Ringrazio Kaspar Meyer per aver preparato le figure 6.1 e 6.2, e Hanna Damasio per aver preparato tutte le altre e per avermi consentito di usare, nel capitolo 4, alcune idee e certe espressioni tratte da un articolo sulla mente e sul corpo che abbiamo scritto insieme qualche anno fa per «Daedalus».

Cinthya Nuñez ha preparato il manoscritto con grande pazienza, professionalità e buonumore, passando per le infinite revisioni; Ryan Essex e Pamela McNeff hanno dato il loro competente contributo nelle indispensabili ricerche bibliografiche. Desidero ringraziarli per il loro impegno prezioso.

Ethan Bassoff e Lauren Smythe, alla Inkwell Management, hanno risposto a tutte le mie domande e le mie richieste, sempre disponibili e professionali; alla Knopf/Pantheon, molti altri hanno fatto altrettanto, soprattutto Michiko Clark, Jillian Verrillo, Janet Biehl e Virginia Tan, costantemente entusiasti e con il sorriso sulle labbra. La mia riconoscenza va a tutti loro per il contributo che hanno dato al prodotto finale.

INDICE ANALITICO

I numeri in corsivo si riferiscono alle didascalie.

A, fibre nervose, 128, 129
abilità, 343-44, 350-51
«accenno appena intuito», 20
acetilcolina, *257*, 284, 325
Adolphs, R., 410 n. 12, 427-28 n. 12
agire/azione, senso dell', 212, 236, *261*, 264, 419 n. 11
Alkire, M.T., 419-20 n. 5
allucinazioni, 97, 159
Alzheimer, malattia di, 288-93, 421-22 n. 14
ambiente
- cambiamenti nel cervello e nel corpo nell'interazione con l', 57
- interazione corpo-cervello nella creazione di mappe dell', 56-57, 87-89, 121-22
- processi di gestione della vita in risposta all', 59-61
- strutture neurali a livello dell'interfaccia fra cervello e, 385-87
- vantaggi assicurati dalla coscienza nell'adattamento all', 80
- *si veda anche* esterocezione

ameba, 49, 322
amigdala
- anatomia, 379, 382, 383-84
- e le reazioni di paura, 148
- nel meccanismo del circuito del corpo «come se», 135, 136
- nell'elaborazione delle emozioni, 147
- nella produzione degli effetti dei qualia, 319

ammirazione, 164, 165-68
amnesia, 298-99
amore, 15, 393-94 n. 1
anatomia
- come aggregazione di sistemi, 49-51
- e la metafora della macchina, 63-65

Andrews-Hanna, J.R., 420 n. 9
anestesia, 283-84
animali
- comportamento adattativo in assenza di coscienza, 47-49

– coscienza negli, 41, 219-20
– livelli del sé negli, 41
– manifestazioni delle emozioni sociali negli, 164
– *si veda anche* forme di vita semplici
anosognosia, 300-301
Aplysia californica, 48
apprendimento
– attuale comprensione dell', 171
– come educazione dell'inconscio cognitivo, 350
– processi neuronali nell', 376
– strutture cerebrali coinvolte nell', 101, 171
– *si veda anche* memoria/ricordi
apprendimento cognitivo
– comportamento adattativo e, 52-53
– educazione dell'inconscio cognitivo per l', 350-51
– emozioni e, 144, 145-46, 152
– evidenze del ragionamento inconscio, 340-46
– prospettive per la sua evoluzione futura, 314
– strutture cerebrali coinvolte nell', 101, 314
area postrema, 379
area tegmentale ventrale, 264
arti, 347-48, 360, 362, 366-69
Asbury, Arthur K., 416 n. 2
asomatognosia, 301
assoni, 55, 371, 374, 379, 380
attenzione
– attività cerebrale durante e dopo l', 286-88
– definizione, 257
– nella creazione del sé nucleare, 257
– suoi effetti sull'emozione, 145

Baars, Bernard, 240-41, 417 n. 1, 418 n. 7
Balleine, Bernard W., 402 n. 8
Bargh, J.A., 426 n. 2
Bargmann, Cornelia, 79, 402 n. 10
Barnes, Robert D., 400-401 n. 1
Barsalou, L.W., 412 n. 5
batteri, 49-50, 71, 78; *si veda anche* forme di vita semplici
Bauby, Jean-Dominique, 295, 422 n. 17
Baumeister, R.F., 426 n. 2
Bechara, A., 410 n. 6, 420 n. 8, 426 n. 5, 427-28 n. 12
Behbahani, Michael M., 408-409 n. 6
benessere
– come valore biologico, 67-68
– consapevolezza cosciente della regolazione ottimale dei processi vitali, 77-78
– vantaggi assicurati dalla coscienza nella regolazione dei processi vitali mirati al, 82
– *si veda anche* intervallo omeostatico
Ben-Jacob, Eshel, 400-401 n. 1
Bernard, Claude, 61, 401-402 n. 6
Bernard, Jean-François, 408-409 n. 6
Blackburn, Simon, 423-24 n. 7
Blakemore, S.-J., 414-15 n. 16
Blanke, O., 418 n. 9
Blessing, W., 423 n. 3
Block, Christine H., 408-409 n. 6
Block, Ned, 423-24 n. 7
Bloom, Harold, 203, 415-16 n. 1
Blumberg, Baruch, 402 n. 10
Bourgeais, L., 408-409 n. 6
Brecht, Michael, 406-407 n. 16
Brentano, Franz, 121, 407 n. 1
Brodal, A., 423 n. 3
Brodmann, aree di, 251, 276, 383
Bruce, C.J., 409 n. 8
Brun, A., 421-22 n. 14
Buccino, G., 414-15 n. 16

Buckner, R.L., 420 n. 9, 421 n. 13, 422 n. 16
Butler, Ann B., 400-401 n. 1, 423 n. 3

C, fibre nervose, 128
Caenorhabditis elegans, 79
Calvert, G.A., 413 n. 10
Cannon, Walter, 61, 152, 401-402 n. 6, 410 n. 4
Carroll, Daniel C., 420 n. 9
Castells, Manuel, 400 n. 20
Catmur, C., 414-15 n. 16,
Cavanna, A.E., 419 n. 2
«cellule della nonna», 178-79, 195
cellule eucariotiche 49-50, 57, 71; *si veda anche* forme di vita semplici
cellule gliali, 373-74, 378
cerebro, 378
cervelletto
- anatomia, 379
- funzioni del, 101
- nella risposta della paura, 149

cervello
- architettura neuronale del, 30-31, 371-72
- durante il sonno, 284-86
- evoluzione del, 49-50, 311-14
- fondamenti inconsci della coscienza, 225
- localizzazione delle zone di convergenza-divergenza, 272-73
- metafora della macchina per il, 64-65
- modulazione non cosciente degli stati tissutali, 74-75
- nei portali sensoriali, 251
- nei processi della memoria, 170-71, 178-80, 184-86, 192
- nei processi emozionali, 101, 108, 110-11, 144-45, 147-50, 153-56, 159-60, 166-67, 214, 321
- nel funzionamento del sistema delle mappe master enterocettive, 245-46
- nel meccanismo del circuito del corpo «come se», 134-36
- nella creazione del sé, 33-34, 37-38, 261-63, 270, 271-72
- nella creazione della coscienza, 37, 38-40, 263-65, 302, 311-12, 314-15
- nella funzione dei visceri, 154-56
- nella genesi del proto-sé, 238, 260
- nella genesi delle mappe del proto-sé, 242
- nella produzione degli effetti dei qualia, 319
- nelle regioni che creano la mente, 99-104, 115-16
- nello stato di veglia, 237-38
- nuclei, 376-77, 379, 383-84
- per l'apprendimento, 101, 171
- per la gestione dei processi vitali, 55-56, 308
- per monitorare l'interno del corpo, 106, 128-29
- per realizzare lo stato del sé nucleare, 259-63
- rappresentazione del mondo esterno nel, 88-89
- regolazione dei processi vitali come base per il, 82-83
- relazioni fra struttura e funzione, 383-85
- requisiti per la creazione della mente, 115-18
- requisiti per lo sviluppo del sé ribelle, 360-62
- rete di default, 286-88
- reticoli corticali, 90-91

- selezione e ordinamento delle immagini nel, 221-23
- sistemi di valore nel funzionamento del, 67
- sua capacità di rilevare stimoli positivi o negativi, 75-76
- sue alterazioni nella malattia di Alzheimer, 289-93
- suo ruolo nella creazione delle mappe, 87, 90-91, 92-93
- valore biologico nell'evoluzione del, 40
- *si vedano anche* coscienza, base neurale della; neuroni e attività neuronale; segnalazione elettrochimica; *e le singole componenti della sua struttura anatomica*

Chalmers, David, 397-98 n. 14, 424 n. 8
Changeux, Jean-Pierre, 240-41, 399 n. 17, 417 n. 1
Churchland, Patricia S., 336, 397 n. 13, 397-98 n. 14, 423-24 n. 7, 426 n. 2
ciclo vitale
- divisione cellulare e riproduzione, 58-59
- evoluzione di forme di vita, 51

ciglia, 50
citoplasma, 49
citoscheletro, 49
claustro, 274
coclea, 93-94
Cohen, L., 418 n. 7
collicoli, 376-77
- creazione di mappe nei, 93

collicolo inferiore, 305, 406 n. 13
collicolo superiore
- creazione di immagini nel, 114
- mappe del, 112
- nella creazione del sé, 262-63
- nella creazione della coscienza, 264
- oscillazioni elettriche nell'intervallo delle frequenze gamma, 115
- struttura del, 112
- sue funzioni, 112, 306, 405-406 nn. 12-13

coma, 206, 294-96, 297-98, 305, 306
combattimento o fuga, risposta, 148-49
compassione, 163, 165-68
complessità
- dei fenomeni neurobiologici e mentali, 29, 118
- nel processo di richiamo dei ricordi, 181
- nell'evoluzione della coscienza, 230
- numero e modalità di organizzazione dei neuroni, 356

comportamento impulsivo, 353
comportamento ritualizzato, 350-51
configurazioni neurali
- definizione, 89
- nella creazione di immagini, 98
- *si vedano anche* immagini; mappe

Cook, N.D., 323, 424 n. 9
corpi genicolati, 93, 376
corpo
- compartimenti, 124
- connessione con il proto-sé, 35
- mappe master dell'organismo, 246-47
- muscolatura, 125-26
- sentimenti primordiali del, 35, 240
- strutture cerebrali coinvolte nel monitoraggio del suo *milieu* interno, 61, 106, 128
- sua concettualizzazione nel mondo antico, 124-25

– *si vedano anche* enterocezione; interazione corpo-cervello; mappe del corpo; sistemi sensoriali
corpo calloso, 378
cortecce associative, *si veda* cortecce sensoriali di ordine inferiore
cortecce sensoriali di ordine inferiore
– anatomia, 382
– componenti, 384
– formazione delle immagini nelle, 102
– funzioni, 382
– nei processi mnemonici, 177-78, 180, 182-83, 194
– nella genesi dello stato del sé nucleare, 260
– spazi delle immagini costituiti dalle, 184, 338-39
cortecce somatosensoriali
– genesi del proto-sé nelle, 260
– loro assenza, 155-56
– loro ruolo, 154
– nell'emozione e nel sentimento, 404-405 n. 12
– nella creazione della coscienza, 263-63
corteccia cerebellare, 382
corteccia cerebrale
– area neuronale nella, 376-77
– capacità in sua assenza, 108-12
– creazione delle mappe nella, 90-91
– evoluzione della, 312, 384
– funzioni del tronco encefalico e, 312-14
– funzioni della, 102, 310-12
– genesi del sé nucleare nella, 311-12
– genesi delle mappe del proto-sé nella, 242
– nel sistema sensoriale, 251
– nella creazione del sé autobiografico, 269
– nella risposta della paura, 149-50
– nello stato di veglia, 237
– origini della coscienza nella, 38, 302-303
– processi delle emozioni nella, 153
– regioni di convergenza-divergenza nella, 272
– spazio delle immagini nella, 184-85, 195, *196*, 240
– spazio di lavoro neuronale globale nella, 240-41
– spazio disposizionale nella, 174, 195, *196*, 197, 240
– struttura della, 90-91, 378-79, 382
– sua connettività ai fini della creazione della mente, 116-17
– talamo e, 310
corteccia del cingolo, 155, 166, 378, 404-405 n. 8
– anteriore, nell'emozione e nei sentimenti, 155, 166, 404-405 n. 8
– posteriore, 276
corteccia dell'insula
– funzione, 136
– genesi del proto-sé, 260
– lesioni della, *107*,
– localizzazione della, *107*, 379
– nei processi dell'emozione, 153-54, 166
– nel sistema delle mappe master enterocettive, 245-46
– nell'elaborazione dei sentimenti, 105, 106
– ruolo somatosensoriale della, 153-54
– sentimenti in sua assenza, 105-106
corteccia entorinale, sue altera-

zioni nella malattia di Alzheimer, 289-90, 293
corteccia parietale, 272
corteccia posteromediale
– alterazioni nella malattia di Alzheimer, 291-92
– attività metabolica nella, 288
– azione degli anestetici sulla, 284
– come regione di convergenza-divergenza, 273, 280-81, 282
– componenti, 276
– connettività, 275-79, *278*
– localizzazione, *277*, 281-82
– nei processi di creazione della coscienza, 274, 275-77, 279, 281-82
– nel coma e negli stati vegetativi, 296
– nel sonno, 286
– nell'esperienza delle emozioni sociali, 167-68
– nella rete di default, 286-87
corteccia prefrontale, 136
corteccia prefrontale ventromediale
– elaborazione delle emozioni, 147
– nel meccanismo del circuito del corpo «come se», 135
– produzione degli effetti dei qualia, 319
corteccia retrospleniale, 276
corteccia temporale, 272
cortisolo, 66, 148
coscienza
– autobiografica, 216, 219
– come fenomeno non fisico, 26-27
– come materia di studio, 293-94 n. 1
– come stato della mente, 201
– come vantaggio evolutivo, 224-25, 333-35
– comportamento adattativo in assenza di, 52-53
– concettualizzazione freudiana della, 226
– contenuti della mente nella, 202
– definizione, 201, 202-203, 393-94 n. 1
– deliberazione cosciente come suo vantaggio, 338-39
– effetti dell'anestesia sulla, 283
– emozione quale suo indicatore, 212, 213-14
– esame introspettivo dei livelli più semplici della, 234-37
– espressione delle emozioni e, 213-14
– il processo del sé nella creazione della, 19, 22, 23, 37-39, 230, 232, 233-34
– il proto-sé nella, 35
– il sé come aspetto definitorio della, 21, 201, 211-12, 217-18
– il sé nucleare nella creazione della, 258
– immagini degli oggetti nella, 236
– implicazioni della ricerca sull'Alzheimer per i modelli della, 288-94
– importanza dei sistemi enterocettivi nella, 244
– importanza delle emozioni nell'esame della, 142
– linguaggio e, 219, 220
– livelli del sé nella, 38
– mappe del corpo che portano alla, 140-41
– mente e, 16, 18, 21-22, 48, 201
– modificazione della portata e dell'intensità della, 216
– negli animali diversi dall'uomo, 219
– negli stati vegetativi, 206-208

- nel sonno, 284-86
- nell'idroanencefalia, 111
- nella gestione e nella salvaguardia della vita, 40
- nella modulazione degli stati di piacere e di dolore, 69, 74-76, 79-82
- nella sindrome *locked in*, 294-96
- nucleare, 216, 219-20
- obiettivi dell'indagine sulla, 17, 44-46
- origini evolutive della, 30, 354-55
- per l'omeostasi socioculturale, 364-65
- qualia e, 320
- rappresentazioni letterarie della, 203-204
- regolazione dei processi vitali prima e dopo la sua comparsa, 225
- scala di intensità della, 214-16
- senza sentimenti, 303-304
- sogno e, 227-28
- stato di veglia e, 13-14, 202, 204-205, 233-34
- strutture e processi cerebrali coinvolti nella, 38-40, 263-65, 302, 311-12, 315
- sua assenza, 15
- sua caratteristica principale, 13-14
- sua importanza per la vita umana, 14-15, 25, 45-46, 334, 358, 369-70
- sua portata, 215
- sue origini nel tronco encefalico, 36
- suoi domini passibili di ricerca, 33
- suoi requisiti, 204-206
- teoria dei quanti e, 26-27
- valore biologico nelle origini e nello sviluppo della, 40-41, 43
- *si vedano anche* coscienza, base neurale della; mente; processi non coscienti e inconsci

coscienza, base neurale della
- attuale conoscenza e comprensione della, 303-304, 328-29, 372-73
- base razionale per un approccio evolutivo alla, 28
- concetto del sé nella ricerca della, 23, 24
- e mistero della vita, 44-45
- eventi mentali come eventi cerebrali, 29
- funzione dei neuroni nella, 314-16
- implicazioni della ricerca sulla, 44-46
- limitazioni del potere esplicativo della, 355-56
- necessità di una prospettiva integrata nelle indagini sulla, 27-28
- nel talamo, 309-11
- nel tronco encefalico, 304-309
- prime ricerche sulla, 18
- prospettive necessarie per l'indagine, 27-28
- quadro concettuale, 30-34
- ricerca presente e futura sulla, 26-27
- strutture cerebrali coinvolte, 304
- sua analisi a livello dei sistemi su larga scala, 31-33
- sue implicazioni per i sistemi giuridici e giudiziari, 353-54

coscienza paradossa, 202, 213, 228, 286

costruzione narrativa
- del sé come protagonista, 257, 258

- nella creazione del proto-sé, 262
- nella creazione del sé nucleare, 258, 262
- per la trasmissione culturale, 365
- selezione e ordinamento delle immagini per la, 221-22

Cowey, Alan, 426-27 n. 6
Craig, A.D., 408 n. 5, 411 n. 8, 418 n. 8, 422 n. 20
Craighero, L., 409 n. 9, 414 n. 14
creatività, 15
Crick, Francis, 274, 393-94 n. 1, 396 n. 10, 417 n. 1
cultura/e
- base neurale della coscienza e, 44-45
- emozioni comuni presenti in tutte le, 161
- estensione dell'omeostasi nella, 42, 364-65
- evoluzione del sé e, 233, 359-62
- evoluzione della, 362-65, 386
- ruolo dell'inconscio genomico nel plasmare la, 346-48
- sviluppo delle arti, 366-69
- teoria dell'equivalenza cervello/mente e, 30
- trasmissione della, 365-66
- *si veda anche* sistemi sociali

cute, 49, 50

Damasio, Hanna, 105, 165, 404 nn. 5 e 7, 410 n. 12, 411 nn. 9 e 12, 412 n. 3, 426 n. 5, 427-28 n. 12
danni cerebrali, *si veda* lesioni cerebrali
Darwin, Charles, 161, 394 n. 1
Daw, Nathaniel D., 402 n. 8
Dayan, Peter, 402 n. 8
De Duve, Christian, 400-401 n. 1, 401 n. 5
Deecke, L., 425 n. 1
Dehaene, Stanislas, 240-41, 417 n. 1, 418 n. 7
Déjérine, Jules, 273
dendriti, 374
Dennet, D., 397 n. 13, 407 n. 2, 423-24 n. 7
Denny-Brown, Derek, 114, 406 n. 15
depressione, 319
Deschenes, M., 423 n. 5
diencefalo, 379
Dijksterhuis, Ap, 340-41, 342, 343, 426 n. 4
dipendenza, 340, 351
disgusto, 153-54
disposizioni
- architettura cerebrale per il loro funzionamento, 184-85, 195, *196*
- come fondamento inconscio della coscienza, 225
- contenuti inconsci delle, 186
- evoluzione delle mappe e, 175-76, 197
- funzioni delle, 184-87
- mappe *vs.*, 174
- nella creazione delle immagini, 195
- nella ricostruzione delle mappe per la rievocazione di ricordi, 182-83

disprezzo, 153-54, 164
dolore e piacere
- come incentivi per la sopravvivenza, 74
- compassione per la sofferenza altrui, 168
- comunicazione corpo-cervello, 129-33
- evoluzione del sentimento, 323-24
- loro interferenza nella trasmissione di segnali al cervello, 159

- mantenimento cosciente dell'omeostasi, 69
- modulazione non cosciente degli stati tissutali, 74
- soggettività nell'esperienza del, 14-15
- strutture cerebrali coinvolte nella genesi dei sentimenti corrispondenti, 104, 105-106
- *si veda anche* ricompensa e punizione

dopaminergico, sistema, 66, *256-57*
Doya, Kenji, 402 n. 8
dura madre, 128
Durham, W.H., 428 n. 15
Dutton, Dennis, 428 n. 16

Eckhorn, R., 117
Edelman, Gerald, 396 n. 10, 398-99 n. 16, 399 n. 17, 400-401 n. 1, 403-404 n. 3, 417 n. 1
efferenza, copia di, 134
Einstein, Albert, 394 n. 1
elettroencefalografia, 206, 285
Eliot, T.S., 370, 395 n. 6, 428 n. 17
emozione/i
- ciclo emozione-sentimento, 145-46
- classificazione delle, 160-61
- come indicatori della coscienza, 213, 214
- controllo delle, 162-63
- costo biologico delle, 150
- creazione dei marcatori somatici, 20, 223
- definizione, 143
- di fondo, 163
- differenze individuali nell'esperirle e nel reagire a esse, 162
- fattore tempo nella loro elaborazione, 159-60
- innesco delle, 145, 146-47
- loro concettualizzazione da parte di James, 150-52
- loro importanza nei concetti di mente e cervello, 142, 146
- loro induzione attraverso la comunicazione corpo-cervello, 127
- loro ruolo nel cambiamento dei ricordi nel tempo, 267
- meccanismi omeostatici all'origine delle, 77
- nei primi esseri umani, 363
- nell'elaborazione cognitiva non cosciente, 344-45, 352
- nella gestione delle immagini, 223
- origini evolutive delle, 63, 161-62, 164
- processi cognitivi nelle, 144, 145-46, 152, 156
- regolazione dei processi vitali come base delle, 82-83
- routine del programma fondamentale delle, 161
- sentimenti *vs.*, 143-45, 151
- specificità di risposta nelle, 147-48
- strutture e processi cerebrali nelle, 101, 106-108, 110, 145, 147, 148-50, 214
- universalità delle, 161
- valore biologico e, 142
- *si vedano anche* emozioni sociali; espressione delle emozioni; sentimenti dell'emozione

emozioni di fondo, 163
emozioni sociali
- caratteristiche esclusive, 165
- gamma delle, 164
- loro espressione negli animali, 164
- loro innesco, 164, 166
- ruolo delle, 165
- strutture e processi cerebrali

coinvolte nell'esperienza delle, 165-68
empatia
- compassione per il dolore altrui, 168
- percezione del sentimento negli altri, 213
- simulazione degli stati corporei altrui, 137-38
Engel, Andreas K., 406-407 n. 16
Englund, E., 421-22 n. 14
enterocezione
- definizione, 71
- e esterocezione nella creazione del sé, 251
- funzione omeostatica dell', 242
- gamma ristretta di configurazioni sensoriali nell', 251
- mappe master enterocettive, 242-46
- meccanismi dell', 128
- processi neuronali nell', 321
- relativa invarianza dell', 244, 252
- segnalazione elettrochimica dell', 324-25
- sentimenti delle emozioni e, 144
- strutture e processi cerebrali, 245-46
- suo significato nella creazione del sé, 244-45
entusiasmo, 163
epilessia, 208-13, 297-98
equivalenza cervello-mente
- base concettuale dell', 28-29, 387-88, 389
- causalità discendente e, 389
- concettualizzazione delle immagini e delle mappe e, 88-90, 387-88, 389
- cultura e, 30
- esigenza di nuove ricerche, 388
- modello evolutivo, 30
- obiezioni al concetto di, 387, 389, 398 n. 15
errori di attribuzione, 249-50
Eslinger, Paul J., 404 n. 7
espressione delle emozioni
- controllo dell', 162-63
- coscienza e, 213
- nei bambini con idroanencefalia, 110-11
- nella risposta della paura, 148-49
- strutture cerebrali coinvolte, 110
esterocezione
- definizione, 71
- e enterocezione nella creazione del sé, 251
- infinita gamma delle configurazioni sensoriali nell', 251
- meccanismi dell', 129
- *si vedano anche* ambiente; sistemi sensoriali
Estes, Melinda L., 408-409 n. 6
evoluzione
- continua del sé, 25, 232
- degli interneuroni e delle interregioni, 386
- dei processi del sé, 232
- del comportamento adattativo, 52-53
- del protocollo di reazione sensoriale, 71
- del sé conoscitore, 21
- del sistema del circuito del corpo «come se», 137, 157-58
- dell'emozione, 63, 146, 154, 161-62, 164
- dell'omeostasi socioculturale, 42, 365
- della capacità di movimento, 71
- della capacità omeostatica, 62-63, 76

– della complessità della coscienza, 230
– della creazione e della gestione delle immagini, 223
– della cultura, 232-33, 359-62
– della mente, 357
– della struttura e della funzione neuronale, 57
– delle arti, 366-69
– delle capacità di linguaggio, 219-20
– delle forme di vita, 49-51
– delle mappe, 174-76
– delle strutture e delle funzioni cerebrali, 312-14, 383-85
– dello spazio disposizionale e dello spazio delle immagini nel cervello, 197
– di cervelli con e senza coscienza, 48
– duplice nozione del sé nella teoria dell', 19-20
– emergere del sé nell', 359-61
– esistenza dei primi esseri umani, 362-64
– importanza della soggettività e della coscienza nell', 14-15, 25, 357-59
– neurobiologia della coscienza nel contesto dell', 28, 33
– origini dei sentimenti nell', 324
– origini e sviluppo della coscienza, 41, 224-25, 230, 333-35, 354-55
– regolazione dei processi vitali come base per l', 82
– sviluppo di incentivi per la sopravvivenza nell', 74-77
– valore biologico nell', 40, 43

Farah, M.J., 414 n. 13
farmaci, effetti dei, 158-59, 217, 318, 351-52
Feinberg, Todd E., 416 n. 2
Feinstein, Justin S., 404 n. 7
fessura sinaptica, 375
Feynman, Richard, 9
Fiset, Pierre, 419-20 n. 5
fisica quantistica, 26
Fitch, T., 401 n. 3, 407 n. 2
Fitzgerald, F. Scott, 46, 169, 400 n. 21
Flanagan, Owen, 423-24 n. 7
flusso di coscienza, 203
formazione reticolare, *256-57*
forme di vita semplici
– capacità omeostatica delle, 61-63
– capacità sensoriali delle, 70-71
– comportamento adattativo nelle, 52, 79, 403 n. 11
– comportamento sociale delle, 78-79
– evoluzione delle, 48-51
– loro importanza per la ricerca sulla coscienza, 48
– manifestazioni della volontà di vivere nelle, 51-52, 323
– organismi pluricellulari come sistemi sociali, 51
– precursori della funzione dei sentimenti nelle, 322
– struttura delle cellule singole, 49
– *si veda anche* animali
Freud, Sigmund, 226-27, 348, 416 n. 7
Friston, K., 426
Frith, Chris, 397 n. 13, 425-26 n. 1

Gallagher, S., 397 n. 13, 426-27 n. 3
Gallese, V., 409 n. 9, 414 n. 14, 414-15 n. 16
gamma-aminobutirrico, acido, 284
gangli, 383

gangli basali, 264, 274, 379, 382, 383
Gauriau, Caroline, 408-409 n. 6
Gazzaniga, Michael, 258, 418 n. 10, 427 n. 11
Gazzola, V., 414-15 n. 16
gelosia, 164
genetica
- dell'emozione, 161-62
- evoluzione della capacità omeostatica, 61-63
- inconscio genomico, 347
- influenze culturali sulla, 366-67
Giola, M., 408-409 n. 6
giudizi morali, *287*, 338, 352-54, 364
giudiziari, sistemi, 352-54
giunzione temporoparietale, 272
Glimcher, Paul W., 402 n. 8
gliomi, 374
Goldberg, M.E., 409 n. 8
González, J., 413-14 n. 11
gratificazione ritardata, 334
Greenspan, Ralph, 400-401 n. 1
Grush, Rick, 397-98 n. 14
guaina mielinica, 378
Gusnard, D.A., 420 n. 7
Gustafson, L., 421-22 n. 14

Hagen, M.C., 413-14 n. 11
Haggard, Patrick, 336, 425-26 n. 1
Hagmann, Patric, 412 n. 7, 419 n. 4
Haidt, Jonathan, 167, 411 n. 13
Hameroff, Stuart, 397-98 n. 14, 424 n. 10
Hari, R., 409-10 n. 10
Harting, John K., 406 n. 13
Hebb, Donald, 376
Heilman, Kenneth M., 404 n. 5
Heinzel, A., 397 n. 13
Hobson, Allan, 416 n. 9
Hodos, William, 400-401 n. 1, 423 n. 3
Holden, C., 428 n. 15
Hölldobler, Bert, 400-401 n. 1
Hubel, David, 403-404 n. 3
Huerta, Michael F., 406 n.13
Hume, David, 23, 396-97 n. 12
Humphrey, Nicholas, 398-99 n. 16
Huxley, T.H., 349, 427 n. 10
Hyde, Thomas M., 408-409 n. 6
Hyman, Brad, 289, 421 n. 11, 422 n. 15

Iacoboni, M., 414-15 n. 16
ictus, 294
idroanencefalia, 108-11, 115, 156
imaging, tecniche di
- correlazione fra mappa cerebrale e oggetto, 95
- per seguire il corso delle emozioni, 159-60
- ricerca nel campo delle neuroscienze basata su, 32
- studi sulla coscienza negli stati vegetativi, 207
imbarazzo, 164
immaginazione/formazione di immagini
- come dono della coscienza, 369-70
- modello di convergenza-divergenza dell', 192
- nei sogni a occhi aperti, 217
immagini
- astratte, 96, 239
- come prodotto del sé, 22
- corteccia cerebrale e, 310-11
- costruzione di mappe e, 87, 89, 96, *103*
- creazione e conoscenza delle, 29
- creazione interattiva delle, 98
- definizione, 31, 89, 204-205

- degli oggetti nella coscienza, 235
- del sé nella coscienza, 236
- delle relazioni fra organismo e oggetto, 239, 257-58, 262
- evoluzione della capacità di creare e gestire le, 222-25
- flusso illogico di, 97
- fonti delle, 238-39
- genesi neurale delle, 31
- loro flusso nella mente, 96-97
- loro integrazione con le disposizioni, 197
- nel sé autobiografico, 37
- nell'archiviazione e nel richiamo dei ricordi, 180-81
- nella creazione del proto-sé, 34, 35
- nella creazione del sé autobiografico, 268-70
- nella creazione del sé nucleare, 37, 259-60
- nella creazione della coscienza, 239-40, 257-58
- nella mente non cosciente, 97, 221-23
- nelle mappe del corpo, 34
- proprietà rappresentate nelle, 96
- rappresentazione dell'organismo nelle, 239
- selezione e ordinamento delle, 221-22
- sentimenti ed emozioni in risposta alle, 317
- sentimenti primordiali come, 35, 36
- sentite, 96, *103*, 133, 239-40, 242, 358
- strutture cerebrali coinvolte nella formazione delle, 101-102, 114, 239-40
- valore delle, 97-98, 320
- vantaggi evolutivi della coscienza nell'uso di, 333-34

Immordino-Yang, Mary Helen, 165, 411 n. 12, 420 n. 9

impulsi/pulsioni
- emozioni e, 143, 146
- inconscio genomico negli, 347
- meccanismi omeostatici e, 76

incentivo/i
- evoluzione, 74-76
- protocollo di reazione non cosciente per la sopravvivenza, 72-73

inconscio genomico, 347

informazione qualitativa, sua trasmissione al cervello
- mappe dei portali sensoriali diretti verso l'esterno, 247-49
- ruolo dei portali sensoriali, 325-27
- segnalazione dal corpo al cervello, 129-33

intenzionalità, 121

interazione corpo-cervello
- enterocezione/esterocezione, 71, 129, 251
- funzioni dei neuroni, 55-57
- interferenza nella trasmissione dei segnali del dolore al cervello, 158-59
- limiti dell'attuale comprensione, 328-29
- natura della comunicazione, 125-27
- nella costruzione di mappe del mondo esterno, 31, 56-57, 87-89, 121
- nella creazione del proto-sé, 252-54
- nella creazione delle registrazioni mnemoniche, 172-73
- ruolo del cervello nella, 125
- segnalazione elettrochimica, 379-82
- sentimenti primordiali nell', 35-36, 321

– trasmissione di informazioni qualitative, 129-33, 247-49
– *si vedano anche* enterocezione; sistemi sensoriali
interazione interpersonale
– capacità dei bambini con idroanencefalia, 109
– come dominio del sé autobiografico, 37, 266
– concetto della mente nell', 16
– omeostasi socioculturale, 42
– percezione dei sentimenti negli altri, 213
– *si veda anche* sistemi sociali
interneuroni, 386
interregioni, 386
intervallo omeostatico
– come valore biologico, 68-70
– consapevolezza cosciente di un i.o. ottimale, 77
– nei sistemi di incentivazione per la sopravvivenza, 73-74
– stati del dolore e del piacere e, 74
– vantaggi per la coscienza dalla sua regolazione, 82
invarianza relativa, 244, 252
invidia, 164
ipnosi, 217
ipotalamo
– anatomia, 379, 382
– funzioni dell', 305-306, 379
– nel sistema enterocettivo master, 245-46
– nella risposta della paura, 148
– nello stato di veglia, 237
– neuroanatomia, 305-306
– suo ruolo nell'omeostasi, *130-31*
ippocampo
– alterazioni nella malattia di Alzheimer, 290, 293
– anatomia, 379
– funzioni dell', 101
istinti, 347

James, William, 19, 20, 23, 123, 150-52, 203, 235, 395 n. 5, 396-97 n. 12, 407-408 n. 3, 410 n. 3
Jasper, Herbert, 18, 395 n. 3, 417 n. 2
Jaynes, Julian, 360, 408 n. 4, 428 n. 13
Jessel, Thomas N., 401 n. 4
Johnson, Mark, 407-408 n. 3
Jones, E.G., 423 nn. 5 e 6

Kahneman, D., 427 n. 7
Kandel, Eric, 48, 401 n. 4, 412 n. 2
Kemp, D.T., 424 n. 11
Keysers, C., 414-15 n. 16
Kiefer, M., 413-14 n. 11
Klier, Eliana M., 406 n. 13
Knoll, Andrew H., 400-401 n. 1
Knutson, Brian, 402 n. 8
Koch, Christof, 274, 396 n. 10, 417 n. 1, 419 n. 1
Koenigs, M., 427-28 n. 12
Kohler, E., 414-15 n. 16
Kornhuber, H.H., 425-26 n. 1
Kosslyn, Steve, 177, 412 n. 4, 414 nn. 12 e 13
Krafft-Ebing, Richard F. von, 416 n. 8
Kreiman, G., 415 n. 17

labiale, lettura, 191-92
Lahav, A., 414-15 n. 16
Lakoff, George, 407-408 n. 3
Laland, Kevin N., 428 n. 15
Laureys, Steven, 395 n. 2, 416 nn. 2 e 4, 422 nn. 18 e 19
LeDoux, J., 397 n. 13
Leggenhager, B., 418 n. 9
Lehrer, Jonah, 427 n. 7
lesioni cerebrali
– alla corteccia cerebrale, 32, 108-12

– alla corteccia dell'insula, 105-106, *107*
– amnesia causata da, 298-99
– coma derivante da, 206-207, 294, 297-98, 305, 306
– compromissione della memoria e, 179-80, 193
– conseguenze per il sé autobiografico, 297-301
– effetti della malattia di Alzheimer, 288-94, 421-22 n. 14
– patologie della coscienza derivanti da, 297
– perdita del collicolo superiore, 114
– ricerche nel campo delle neuroscienze basate su, 32
– stati vegetativi derivanti da, 206-208, 295-96, 305
– tumori, 374
Libet, Benjamin, 335, 428 n. 1
Libro dell'inquietudine, Il (Pessoa), 9
linguaggio
– coscienza e, 219, 220
– immagini come base del, 96
– suo uso da parte dei primi esseri umani, 361-62
– sviluppo storico del, 360
Llinás, Rodolfo, 37, 88, 322, 396 n. 10, 398-99 n. 16, 401 n. 3, 403 n. 1, 407 n. 17, 416 n. 9, 423 n. 5
locked-in, sindrome, 294-95
Logothetis, Nikos, 241, 418 n. 7
Lotze, M., 414 n. 13

Ma, Yo-Yo, 326
Maddock, R.J., 419 n. 2
magnetoencefalografia, 159
Magoun, Horace, 18, 395 n. 3
mappe
– come aspetto caratteristico del cervello, 87
– come prodotto soggettivo, 95
– corrispondenza diretta fra oggetto rappresentato e, 95, 173-74, 173-74
– creazione interattiva delle, 88
– definizione, 89
– dei portali sensoriali orientati verso l'esterno, 247-52
– dei sentimenti delle emozioni, 157
– del collicolo superiore, 112
– del proto-sé, 242
– disposizioni *vs.*, 174-75
– e problema dei qualia, 320-28
– evoluzione delle, 175
– formazione neurale delle, 31
– immagini e, 87, 89, 96, *103*
– interconnessione nei qualia delle, 327-28
– master dell'organismo, 246-47
– master enterocettive, 242-46
– natura dinamica delle, 91-92
– nell'archiviazione e nel richiamo dei ricordi, 180-81
– oggetti fonte delle, *103*
– ruolo nella gestione dei processi vitali delle, 87, 98-99
– strutture cerebrali coinvolte nella loro creazione, 90-91, 92-93, *103*
– varietà delle, *103*
mappe del corpo
– aspetti distintivi delle, 119-24
– attività neuronale nelle, 55-57
– componenti sensoriali nelle, 121-22
– connessione corpo-cervello nelle, 119-20, 126-27
– costruzione degli stati del sentire nelle, 156, 157
– e empatia, 137-38
– elaborazione dei segnali per le, 123-24
– funzioni delle, 140-41

- loro corrispondenza con il reale stato del corpo, 132-33
- movimento e, 126
- nei cervelli complessi, 120-21
- nella creazione del proto-sé, 34
- nella regolazione basata sulla mente cosciente, 141
- referenzialità del cervello nei confronti del corpo e, 120-22
- simulazione degli stati del corpo altrui nelle, 138-40
- simulazione degli stati del corpo nelle, 134-38
- strutture cerebrali nelle, 34, 306

Maquet, Pierre, 420 n. 6
marcatore/i somatico/i
- funzione, 223
- origine, 20

Margulis, Lynn, 401 n. 2
Massimini, M., 420 n. 6
May, Paul J., 406 n. 13
McDonald, I., 416 n. 2
McKhann, G., 416 n. 2
McLeod, P., 426-27 n. 6
McRitchie, Deborah A., 408-409 n. 6
meccanismo del circuito del corpo «come se», 135-37
- nella creazione del sentimento dell'emozione, 157-58

Melloni, L.C., 407 n. 18
membrana cellulare, 49-50, 51
memoria/ricordi
- amnesia, 298-99
- attività cerebrale nella rete di default nel richiamo dei, 287
- cambiamenti nel richiamo di ricordi con il passare del tempo, 170, 267
- complessità del processo di richiamo, 181
- configurazioni sensomotorie nella registrazione dei, 172
- costruzione di mappe nella, 88
- dei sogni, 228
- di interazioni motorie nella creazione del sé, 259
- effetti della malattia di Alzheimer sulla, 290
- emozioni innescate da, 146-47
- evocazione mediante il movimento, 138-40
- fattori contestuali nel richiamo dei, 173
- fattuale contrapposta a procedurale, 182
- immagini provenienti da, 96-97
- influenza dei pregiudizi nella registrazione e richiamo dei, 173
- mancanza di divisione cellulare nei neuroni e, 58
- meccanismi evocativi per la, 169-70
- nel sé autobiografico, 266, 267-68, 268-70
- nell'evoluzione della coscienza, 232, 361
- processi neuronali della, 376
- quantità dei, 267
- raggruppamento di più ricordi come singolo oggetto, 270
- requisiti per lo sviluppo del sé ribelle, 361
- retroattivazione con sincronizzazione nella, 184, 195
- ruolo della prominenza emozionale nella, 170
- ruolo delle zone di convergenza-divergenza nella, 183-84, 187-91, *188-89*, 412-13 n. 8
- sistema di archiviazione e di richiamo, 176-80, 182-83, 186
- strutture e processi cerebrali nella, 170, 178-79, 184, 193
- sua importanza per la vita umana, 370

- suo ruolo nei processi mentali, 170-71, 176-77
- tipi di, 180-82
- *si veda anche* apprendimento

memoria di entità o eventi particolari (*vs.* memoria generica), 180-82
memoria episodica, 180-82
memoria esplicita, 186-87
memoria generica, 180
memoria implicita, 186, 187
memoria semantica, 180-82
meningi, 374
meningiomi, 374
mente
- attendibilità delle osservazioni compiuta dal sé sulla, 24-25, 234-35
- coscienza e, 16, 18, 21, 48, 201
- evidenze delle sue operazioni non coscienti, 206-208
- importanza delle emozioni nell'esame della, 142
- importanza evolutiva della, 79-80, 356
- in assenza di corteccia cerebrale, 108-12
- misura fisica dei suoi eventi, 387-88, 398 n. 15
- modello dell'omuncolo, 253
- nella regolazione dei processi vitali e nell'adattamento, 79-80
- obiettivi delle indagini sulla, 17
- qualità delle strutture cerebrali coinvolte nella, 115-18
- regioni cerebrali coinvolte nella creazione della, 99-104, 115-16
- stato di veglia e, 204-205, 207-11
- sua concettualizzazione nell'antichità, 124-25
- sua percezione in se stessi e negli altri, 16
- sue qualità misteriose, 15-16, 26, 44-45
- suo studio come fenomeno non fisico, 26-27
- *si vedano anche* coscienza; equivalenza cervello-mente; processi non coscienti e inconsci

Merker, Bjorn, 112, 404 n. 6, 418 n. 11
Merleau-Ponty, Maurice, 407-408 n. 3
Metzinger, T., 418 n. 9, 423-24 n. 7
Meyer, Kaspar, 191, 395 n. 2, 403-404 n. 3, 413 n. 9, 414 n. 15, 418 n. 9
midollo spinale
- sua funzione nella creazione della mente, 99-100
- trasmissione dei segnali nel (per il monitoraggio del *milieu* interno del corpo), 128
- *si veda anche* tronco encefalico

Miller, J., 419-20 n. 5
Mintun, M.A., 420-21 n. 10
miti, 363-64, 366
Montague, Read, 402 n. 8
Morris, R., 419 n. 2
Morrison, John H., 423 n. 6
Moruzzi, Giuseppe, 18, 395 n. 3
motivazioni
- emozione e, 143, 146
- inconscio genomico nelle, 347
- meccanismi omeostatici nell'origine delle, 76-77

movimento
- evocazione di immagini mentali mediante il, 138-40
- evoluzione del, 70-72
- integrazione dei segnali neurali per il, 113-14
- nella creazione delle mappe cerebrali, 87-88

- segnalazione elettrochimica nel, 54
- struttura muscoloscheletrica per il, 70-72, 126
- strutture cerebrali coinvolte nel, 101

muscolatura/muscoli
- liscia, 126
- meccanismo per il suo monitoraggio, 129
- per il movimento, 71, 126
- striata, 71, 126
- struttura e funzione, 125-26

musica, 109, 318, 367-68
musica sinfonica, metafora della coscienza come, 38-40
mutismo acinetico, 298
Mystery of Consciousness, The (Searle), 22

Naccache, Lionel, 241, 418 n. 7
Nagel, Thomas, 423-24 n. 7
nematodi, 79
neocorteccia, 382
nervo trigemino, 128
nervo vago, 100
neuromodulatori, 117
neuroni e attività neuronale
- anatomia cellulare dei, 374-75
- assenza di divisione cellulare e di riproduzione nei, 58
- attuale conoscenza e comprensione dei, 372
- caratteristiche esclusive, 54, 58, 356
- connessione con il corpo, 55-57
- differenze nel profilo delle attività dei, 424-25 n. 12
- eccitabilità dei, 323
- evoluzione dei, 57, 355
- modalità e schemi di organizzazione, 355-56, 371-72, 376-78
- nei processi di apprendimento, 375-76
- nell'analisi della neurobiologia della coscienza a livello dei sistemi su larga scala, 31-33
- nell'ipotesi del circuito del corpo «come se», 134-36
- nella corteccia cerebrale, 90, 376, 377
- nella creazione della mente con sentimenti, 34, 57
- nella creazione della mente, 373
- nella creazione di mappe, 90-91
- nella genesi dei protosentimenti, 322
- nella genesi dei sentimenti, 321-22
- nella rievocazione/richiamo dei ricordi, 179
- nella segnalazione elettrochimica, 55, 116-18
- nello spazio disposizionale, 195-97
- nuclei, 376
- oscillazione sincronizzata, 117
- polarizzazione dei, 55
- proiezioni, 377-78
- qualità necessarie per la creazione della mente, 115-18
- registrazione della loro attività durante terapie neurochirurgiche, 32
- reti e sistemi, 30-31
- struttura e funzione dei, 30-31, 55, 120, 355, 371-78, 387
- vie, 378
- *se veda anche* coscienza, base neurale della

neuroni specchio, 135-37
- modello convergenza-divergenza dei, 193-94

neurotrasmettitori
- e sistemi di valore, 67

- modulazione non cosciente degli stati tissutali, 74-75
- nelle regioni del cervello che creano la mente, 117
- produzione dei, 54, 375
noradrenalina, 66, *256-57*
nuclei colinergici, 131, *257*
nuclei del grigio periacqueduttale (GPA)
- anatomia, 106
- nei sentimenti e emozioni, 104, 106-108, 214
- nel sistema degli oppioidi naturali (endogeni), 159
- nell'omeostasi, *130-31*, 308
- nella risposta della paura, 149
- nella trasmissione di informazioni qualitative dal corpo al cervello, 132
nuclei di neuroni, 377, 379, 383-84
nuclei monoaminergici, *256-57*
nucleo cuneiforme, *256*, 307
nucleo del tratto solitario
- connettività, 106
- creazione di mappe nel, 93
- nei processi emozionali, 214
- nel sistema delle mappe master enterocettive, 246
- nell'omeostasi, *130-31*, 308
- nella costruzione degli stati del sentire, 104, 106, 155
nucleo del trigemino, 246-47
nucleo della cellula, 49, 51
nucleo parabrachiale (NPB)
- connettività, 106
- costruzione di mappe nel, 93
- nei processi emozionali, 214
- nel sistema delle mappe master enterocettive, 246
- nella costruzione degli stati dei sentimenti, 104, 106, 155
- sue alterazioni nella malattia di Alzheimer, 291
- suo ruolo nell'omeostasi, *130-31*, 308
nucleo pontis oralis, *256*, 307
nucleus accumbens, 264
Nussbaum, Martha, 150, 410 n. 1

O'Doherty, John P., 402 n. 8, 410 n. 11
Olszewski, J., 423 n. 3
omeostasi
- anticipazione del cambiamento per la sua conservazione, 63, 69
- capacità del cervello per l', 40-41
- capacità di o. a tutti i livelli della vita, 64-65, 402 n. 7
- coinvolgimento del tronco encefalico nell', *130-31*
- comportamenti riproduttivi e, 76
- definizione, 61
- dipendenza dai farmaci e, 351
- disposizioni nell', 175
- esperienza artistica e, 368-69
- evoluzione dell', 61-63, 76
- genesi dei sentimenti di conoscenza nell', *256-57*
- gestione dei processi vitali per conservare l', 59-60
- impulsi e, 76
- motivazione e, 76
- prima e dopo l'emergere della coscienza, 225
- protocollo di reazione sensoriale per l', 71-72
- relazioni fra sistemi regolatori coscienti e non coscienti nell', 80
- socioculturale, 42, 364-66
- valore biologico e, 42, 68-69
- vantaggi evolutivi della coscienza nell', 334

Omero e i poemi omerici, 124-25, 360
omuncolo, 253
opercoli
- parietali, 136
- rolandici, 136
oppioidi naturali (endogeni), 159
orgoglio, 164
ossitocina, 66
Oveis, Christopher, 411 n. 13
Owen, Adrian, 207, 416 nn. 3 e 4

Pandya, D.N., 412 n. 6
Panksepp, Jaak, 37, 104, 112, 396 n. 10, 397 n. 13, 398-99 n. 16, 399-400 n. 18, 417 n. 4, 418 n. 11
paramecio, 49, 54, 322
parti del corpo, origine evolutiva delle, 49-50
Parvizi, Josef, 276, 307, 395 n. 2, 405 n. 9, 410 n. 6, 417-18 n. 6, 419 n. 3, 420 n. 8, 421 n. 12, 422 n. 2, 423 n. 4
Passingham, R.E., 425-26 n. 1
paura, neurofisiologia della, 147, 148-50, 159
Paxinos, M., 419 n. 2
Penfield, Wilder, 18, 395 n. 3
Penrose, Roger, 397-98 n. 14, 424 n. 10
Persaud, N., 426-27 n. 6
Pessoa, Fernando, 9
Peters, A., 423 n. 6
Petrides, M., 419 n. 2
Phelps, Elizabeth A., 427 n. 8
piacere, *si vedano* dolore e piacere; ricompensa e punizione
Pinker, Steven, 398-99 n. 16, 403 n. 2
Plum, Fred, 18, 306, 307, 395 n. 4, 416 n. 2, 423 n. 1
Poldrack, Russell A., 426 n. 2
portali sensoriali
- come sonde neurali, 122
- definizione, 249
- diretti verso l'esterno, mappe del proto-sé, 247-53
- loro ruolo nel definire la prospettiva della mente, 248, 350
- nella costruzione della qualità percettiva, 326
- nella creazione del sé nucleare, 242, 260
- strutture e funzioni cerebrali, 251
Posner, Jerome, 18, 306, 307, 395 n. 4, 416 n. 2, 422 n. 1
potenziale d'azione, 375
precuneo, 276
pregiudizi
- definizione, 223
- influenza, 345
- origine, 223, 339
previsione e anticipazione
- deliberazione cosciente prima dell'azione, 338-39
- funzioni cerebrali non coscienti, 75
- meccanismo del circuito del corpo «come se» per, 135-36
- per mantenere l'omeostasi, 63, 69
- simulazione degli stati corporei nel cervello, 134-38
- vantaggi evolutivi offerti dalla coscienza nella, 224-25, 334
processi cellulari
- di riproduzione e sostituzione, 58-59
- effetti dell'invecchiamento, 59
- metafora della macchina, 63-65
- origini evolutive dell'omeostasi nei, 61-63, 64, 402 n. 7
- per la gestione della vita, 59-61
- *si vedano anche* forme di vita

semplici; neuroni e attività neuronale
processi non coscienti e inconsci
– comportamento adattativo e, 47-48, 52-53
– concettualizzazione freudiana dei, 226-28
– contenuti delle disposizioni, 184-85
– evidenze di ragionamento efficace nei, 340-46
– formazione e gestione delle immagini nei, 98, 221-25
– genomici, 346-48
– gestione dei processi vitali come, 47, 60, 69, 74-75
– guida cosciente dei, 335-37
– ingredienti attivi e silenti dei, 220-21
– loro controllo del comportamento umano, 335-40
– loro implicazione nell'automatismo epilettico, 208-12
– negli stati vegetativi, 206-208
– nel sé autobiografico, 266-67
– pregiudizio quale esempio di, 339, 344-45
– prestazioni competenti nei, 343, 350
– protocollo di reazione primitivo (per la sopravvivenza), 73
– vantaggi del comportamento controllato dai, 336-37
– *si vedano anche* forme di vita semplici; mente
propofol, 284
proprietà (caratteristica del *me*), 236, 257, *261*
prosencefalo basale, 67, 133, 184, 264, 278, 280, 285, 308, 319, 379, 383
prospettiva della mente
– definizione, 248, 250
– nel sé nucleare, *261*
– ruolo dei portali sensoriali nella sua costruzione, 248, 250, 326
protagonista, il sé come, 24-25, 212, 217, 254, 257, 258, 358-59
proto-sé
– come sé materiale, 37
– creazione del, 34, 230, 242
– definizione, 230, *231*, 242
– e il concetto di omuncolo, 253
– mappe dei portali sensoriali diretti verso l'esterno del, 247-52
– mappe master dell'organismo del, 246-47
– mappe master enterocettive del, 242-46
– nell'evoluzione della coscienza, 22
– nella creazione del sé nucleare, 242, 255
– prodotti del, *231*
– protosentimenti e, 316
– ruolo del, 253-54
– sentimenti primordiali nel, 35, 236, 399-400 n. 18
– strutture cerebrali coinvolte nella generazione del, 238, 260
– sua connessione con il corpo, 35
– sue modificazioni derivanti dall'interazione con l'oggetto percepito, 254-55, 262
– tipi di mappe del, 242
protosentimenti, 316, 322-23
Protozoi, 49; *si veda anche* forme di vita semplici
pulsioni, *si veda* impulsi
Pylyshyn, Z., 414 n. 12

qualia
– come componente obbligata dell'esperienza, 317, 318
– come processo della mente, 320

- interconnessione delle mappe nei, 325-28
- problemi concettuali dei, 317
- produzione dei, 319
- risposta attenuata o assente, 318
- sé e, 328

quorum sensing, 78

Raichle, Marcus, *273*, 286-87, 288, 420 nn. 7 e 10
Raos, V., 414-15 n. 16
Reeve, Christopher, 100
regioni di convergenza-divergenza (RCD)
- funzione delle, 187-90, 272-73
- la corteccia posteromediale quale, 280-81, 282
- localizzazione delle, 272, *273*
- nel coordinamento della creazione del sé autobiografico, 271-74
- nel richiamo dei ricordi, *188-89*, 194-97
- nell'evoluzione della coscienza, 232
- nella rete di default, *273*
- origini e sviluppo delle, 190
- struttura, 190
- *si veda anche* zone di convergenza-divergenza

REM (movimenti oculari rapidi), sonno, 228, 286
rete di default, 286-88
retina, 92, 405-406 n. 12
rettili, 41
ribelle, natura, 358-59, 361, 363
ricompensa e punizione
- nel funzionamento emozionale, 143-44
- protocollo di reazione non cosciente (per la sopravvivenza), 72-73
- *si veda anche* dolore e piacere

riproduzione
- base genomica del comportamento sessuale, 348
- come valore biologico dell'organismo, 68
- comportamenti per la regolazione dei processi vitali e comportamenti per la, 76

Rizzo, M., 404 n. 5
Rizzolatti, Giacomo, 135, 409 nn. 9 e 10, 414 n. 14, 414-15 n. 16
Rockland, Charles, 432
Rockland, K.S., 412 n. 6
Rudrauf, David, 159-60, 395 n. 2, 404 n. 7, 411 n. 9
Ruppert, Edward E., 400-401 n. 1

Sagan, L., 401 n. 2
saggezza, 350-51
Saper, Clifford B., 395 n. 4, 408-409 n. 6, 416 n. 2
Sathian, K., 413-14 n. 11
Scafandro e la farfalla, Lo, 295
Schacter, D.L., 420 n. 9
scheletro, 50
Schiff, Nicholas D., 395 n. 4, 416 n. 2, 423 n. 1
Schnabel, Julian, 295
Schultz, Wolfram, 402 n. 8
Schwartz, James H., 401 n. 4, 412 n. 2
sclerosi laterale amiotrofica (SLA), 295
scoraggiamento, 163
sé
- approcci filosofici al, 23
- attendibilità delle sue osservazioni su se stesso, 24-25, 234-35
- come espressione dei processi cellulari, 54, 56-57
- come insieme composito di elementi, 236

- come oggetto, 19, 20-21, 37, 201-202
- come testimone, 24-25
- concettualizzazione del processo del, 19, 33
- concettualizzazione freudiana del, 227
- coscienza e, 14-15, 19, 38, 201, 205-206, 212, 217-18, 230, 232, 233-34
- duplice nozione, 19-20, 21
- emozioni sociali e, 166-67
- enterocezione ed esterocezione nella creazione del, 244-45, 251
- esame introspettivo, 234-35
- evoluzione dei suoi processi, 232-33
- implicazioni dell'automatismo epilettico nella definizione della coscienza, 206-12
- istituzione di una piattaforma stabile («isola di stabilità»), 252, 254
- manifestazioni della sua portata e della sua intensità, 20
- proprietà, 20-21
- qualia e, 328
- regioni cerebrali coinvolte nella sua creazione, 33, 38, 262-63
- ruolo delle emozioni e del sentimento, 142-43, 316
- sentimenti primordiali del, 104, 236
- stadi nella sua costruzione, 36-37
- sua evoluzione continua, 25, 232-33
- sua importanza evolutiva, 333-34
- sue concettualizzazioni da parte delle neuroscienze, 23-24
- sue immagini nella coscienza, 236
- sue qualità ribelli, 358-59, 361, 363-64
- suo emergere nella storia degli esseri umani, 359-60
- vantaggio evolutivo, 333-34
- volontà cosciente come sua autenticazione, 349
- *si vedano anche* proto-sé; sé autobiografico; sé come conoscitore; sé nucleare

sé autobiografico
- archiviazione e richiamo dei ricordi nel, 266-68, 270
- coscienza autobiografica e, 216
- lesioni cerebrali, loro effetto sul, 298-301
- livello di impegno del, 217
- meccanismo coordinatore nella sua costruzione, *269*, 270-74
- negli animali, 41
- sé nucleare e, 297-98
- stati espliciti e dormienti del, 266
- strutture cerebrali implicate nella creazione del, 269-70, 271-83
- sua creazione, 37, 231, 258-59, 268-70
- sua funzione sociale, 21-22, 361-62
- suo funzionamento cosciente e non cosciente, 266-68
- suoi contenuti, 21-22, 266

sé come conoscitore
- evoluzione, 22
- nella creazione della coscienza, 20-21, 22
- sé come oggetto e, 19, 21, 201-202
- sua costruzione, 37

sé nucleare
- come sé materiale, 37
- componenti del, *261*
- coscienza nucleare e, 216

- genesi del, 37, *256-57*, 254-59, 308
- negli animali, 41
- nei sogni a occhi aperti, 217
- nel coma, 297
- nella creazione della mente cosciente, 258-59
- nella produzione di sentimenti legati all'oggetto, 259-60
- nello sviluppo del sé, 22, 230-31, *231*, 268-70
- orientamento all'azione del, 37
- pulsazioni del, 37-38, 231, 259, 265, 266, 268-70, 310
- sé autobiografico e, 231, 268-70, 297
- sentimenti di conoscenza nel, *256-57*
- strutture e funzioni cerebrali per la sua realizzazione, 259-63, 305, 308
- suo ruolo da protagonista, 254

Searle, John, 22, 396 n. 9, 423-24 n. 7

segnalazione
- ricorsiva, 116, 118
- rientrante, 116

segnalazione elettrochimica
- nell'interazione corpo-cervello, 128, 379
- nella costruzione di mappe del corpo, 123-24
- nella genesi degli stati del sentire, 325
- nelle regioni del cervello che creano la mente, 115-18
- neuronale, 54-55, 355-56, 374-75
- per il monitoraggio dell'interno del corpo, 128-29, 323-25
- tempo e sincronizzazione della, 116-17

sensazioni viscerali, 223

senso di colpa, 164

sentimenti del corpo, *103*, 104, 133

sentimenti dell'emozione
- come indicatori della regolazione dei processi vitali, 78
- come variazioni sul tema dei sentimenti primordiali, 35
- condizioni che interferiscono con la produzione dei, 318
- definizione, *103*, 143, 152
- elaborazione cognitiva nei, 156
- enterocezione e, 144
- espressione delle emozioni e, 162-63
- funzione dei, 142-43
- genesi dei, 146, 157-59
- mappatura dei, 157
- origine fisiologica dei, 156
- sentimenti primordiali e, 153, 244
- strutture cerebrali coinvolte nell'elaborazione dei, 105, 153-56
- *si veda anche* sentimento/i

sentimenti primordiali
- come prodotti del proto-sé, 399-400 n. 18
- connessione corpo-cervello nei, 35-36, 321
- costituenti primordiali della mente, 104
- genesi dei, 243-44
- immagini, *103*
- importanza dei, 133
- nei processi del sé, 104, 236
- nella creazione del sé nucleare, 255
- origine dei, 35, 104
- origini della coscienza nei, 41, 231
- origini della mente nei, 41
- sentimenti delle emozioni e, 144, 153, 244

sentimento/i (sentire)
- come marcatore/i somatico/i, 20, 223
- come tratto definitorio della soggettività, 22
- concettualizzazione di James dei, 151
- coscienza senza, 303
- del controllo cosciente dell'azione, 349
- del sé connesso al mondo nella coscienza, 13-14
- della consapevolezza sensoriale, 247-49
- di conoscenza, 21, 255, *257*, *261*, 349
- e attività neuronale nella creazione della mente, 34, 315-17
- emozione *vs.*, 143-45, 151
- immagini sentite, 95, *103*, 239-40, 242, 358
- nel concetto dei qualia, 317
- nel proto-sé, 35
- nella creazione del sé, 257, 259-60, *261*, 316
- nella definizione degli stati mentali coscienti, 202
- nella distinzione fra sé e non sé, 20-21
- nella risposta alle immagini, 317-18
- percezione dei s. altrui, 213
- stati corporei sentiti, 104
- strutture cerebrali coinvolte nell'elaborazione dei, 104-108, 154-55, 321
- tempo di elaborazione dei, 159-60
- teoria completa dei, 303-304
- *si vedano anche* qualia; sentimenti dell'emozione; sentimenti primordiali

sessualità, 348
Shapiro, J., 401 n. 2
Sheinberg, D.L., 418 n. 7
Sherrington, Charles, 152, 408 n. 5
Shewmon, Alan D., 405 n. 10
significato, costruzione del (nelle zone di convergenza-divergenza), 194
Simmons, W.K., 412 n. 5
sinapsi neuronali, 55, 374-75
sindrome post-traumatica da stress, 170
Singer, Tania, 410 n. 11
Singer, Wolf, 115, 117, 406-407 n. 16, 407 nn. 17 e 18
sistema endocrino (nello stato di veglia), 237; *si veda anche* sistema ormonale
sistema enterico, 379
sistema enterocettivo, *si veda* enterocezione
sistema esterocettivo, *si veda* esterocezione
sistema motorio
- nella creazione delle registrazioni mnemoniche, 172-73
- struttura cerebrale, 384
- *si veda anche* movimento

sistema nervoso
- architettura del, 378-83, *380*, *381*
- autonomo, 379
- evoluzione del, 50-51
- parasimpatico, 379
- periferico, 379
- simpatico, 379
- *si veda anche* neuroni e attività neuronale

sistema ormonale
- modulazione non cosciente degli stati tissutali, 74-75
- nella comunicazione cervello-corpo, 127, 237

sistema reticolare attivatore ascendente, 307
sistema serotoninergico, 66, *256-57*

sistema uditivo
- componenti del portale sensoriale, 249
- costruzione della qualità percettiva, 326
- costruzione di mappe nel, 93-94
- spazio delle immagini per la rievocazione dei ricordi nel, 184
- strutture cerebrali coinvolte, 113, 405-406 n. 12
- udire e ascoltare, 221
- *si veda anche* sistemi sensoriali

sistema visivo
- anticipazione, 134
- componenti del portale sensoriale, 249
- consapevolezza del vedere, 248-49
- costruzione di mappe, 92, 93, 325
- interconnessione delle mappe, 325
- spazio delle immagini per la rievocazione dei ricordi, 184
- strutture cerebrali coinvolte, 112, 114, 251
- velocità, 375
- *si veda anche* sistemi sensoriali

sistemi di sistemi, 377-78, 314-15

sistemi sensoriali
- consapevolezza della localizzazione degli organi di senso, 248-49
- costruzione della qualità percettiva nei, 326
- costruzione di mappe, 92-93, 95-96
- errori di attribuzione, 249-50
- evoluzione di organismi complessi, 70-72
- interconnessione delle mappe, 325
- necessità di ulteriori ricerche, 425 n. 12
- negli organismi non coscienti, 70-71
- nella costruzione dei ricordi, 172
- nelle mappe del corpo, 121
- ruolo del sentimento nella percezione, 317
- sonde neurali, 122
- strutture cerebrali coinvolte nei, 102, 155, 309-10, 312, 405-406 n. 12
- strutture neurali periferiche, 385-87
- *si vedano anche* cortecce sensoriali di ordine inferiore; cortecce somatosensoriali; dolore e piacere; esterocezione; enterocezione; portali sensoriali; sistema uditivo; sistema visivo

sistemi sociali
- estensione dell'omeostasi nei, 42, 364-65
- funzione dell'esperienza artistica nei, 366-69
- legge e giustizia nei, 352-54
- nel comportamento delle forme di vita semplici, 78-79
- nell'esistenza dei primi esseri umani, 362-64
- organismi pluricellulari quali esempi di, 51
- regolazione dei processi vitali quale base dei, 82-83
- vantaggi della ricerca sulla coscienza, 45
- *si veda anche* emozioni sociali

Slotnick, S.D., 414 n. 13

soggettività
- creazione della, 254
- importanza evolutiva della, 15
- nell'esperienza dello stato cosciente della mente, 201

– nella creazione della coscienza, 21-22
– origini evolutive della, 232
sogni
– attività cerebrale nei, 285-86
– concetto di coscienza e, 202, 227-28
– concettualizzazione freudiana dei, 227
– costruzione delle mappe nei, 88
– flusso delle immagini nei, 97
– ricordo dei, 228
sogni a occhi aperti, 217, 259
sonde neurali, 122
sonnambulismo, 217
sonno
– come contesto per la ricerca sulla coscienza, 284-85
– coscienza nelle diverse fasi del, 285-86
– strutture e attività cerebrali nel, 285-86
– *si veda anche* sogni
sostanza bianca, 380
sostanza grigia, 380, 382
sostanze
– dipendenza da, 340, 351
– loro interferenza nella trasmissione al cervello dei segnali del corpo, 158-59
– che alterano la mente, 158-59
spazio delle immagini
– creazione di stati mentali coscienti nello, 302
– e creazione del sé nucleare, 259-60
– evoluzione dello, 197
– modello dello spazio di lavoro neuronale globale e, 240-41
– per il richiamo dei ricordi, 184, 195, *196*
– stadi del sé nello, 231
– strutture e processi cerebrali coinvolti nello, 240
Spinoza, 352, 394 n. 1
spiritualità e religione, 37, 348, 366
Sporns, Olaf, 279, 412 n. 7, 419 n. 4
stati corporei sentiti, 104
stati vegetativi, 207-208
Stein, Barry E., 406 n. 13
Steriade, M., 423 n. 5
stimolazione magnetica transcranica, 32
stimoli emozionalmente competenti, 162
Strawson, Galen, 397 n. 13, 423-24 n. 7
Strehler, Bernard M., 112, 405 n. 11, 418 n. 11
Suhler, C., 426 n. 2
Sutherland, Stuart, 393-94 n. 1
Swanson, L.W., 417 n. 5

talamo
– anatomia, 379, 382
– funzione sensoriale, 102, 309
– funzioni, 309
– nel coordinamento delle funzioni del tronco encefalico e della corteccia, 313
– nel coordinamento delle informazioni e delle immagini, 310
– nella creazione del sé, 263, 270, 271-72
– nella creazione della coscienza, 264, 309-10
– nello stato di veglia, 237
– origini della coscienza, 38, 264, 309-10
tegmento, 294
tessuto
– modulazione degli stati di piacere e dolore, 75
– sistema di incentivi legati alla sopravvivenza, 74
tetto, 305-306

Tkach, D., 414-15 n. 16
Todorov, A., 427 n. 8
Tononi, Giulio, 241, 394-95 n. 2, 410 n. 2, 417 n. 1
Tootell, Roger, 95, 403-404 n. 3
Törk, Istvan, 408-409 n. 6
Tranel, Daniel, 105, 404 nn. 5 e 7, 410 n. 12, 412 n. 3, 426 n. 5, 427-28 n. 12
Trimble, M.R., 419 n. 2
tronco encefalico
- anatomia e neuroanatomia del, 305-306, 379, 382
- coma causato da danni al, 294, 305
- evoluzione del, 312-13
- funzionamento del sistema delle mappe master enterocettive nel, 246
- funzione nella costruzione della mente del, 100, 104-105
- funzioni della corteccia cerebrale e, 312-14
- genesi del proto-sé nel, 238, 260
- genesi delle mappe del proto-sé nel, 242
- meccanismi dell'omeostasi nel, *130-31*
- nella creazione del sé autobiografico, 269-70
- nella creazione del sé nucleare, *256*, 305
- nella produzione degli effetti dei qualia, 319
- nelle emozioni e nei sentimenti, 166, 321
- nello stato di veglia, 237-38
- nuclei, 383
- origini della coscienza nel, 36, 38, 263-64, 302-303, 305-309, 313-14
- prospettive per la futura evoluzione del, 314
- sentimenti primordiali nel, 36-37, 243-44
- strutture per la mappatura di corpo e immagini nel, 34, 306-307
Twain, Mark, 47

uccelli, 41

Valenstein, Edward, 404 n. 5
valore biologico
- base concettuale, 65-68
- emozioni e, 143
- intervallo omeostatico e, 68-70
- nelle origini e nello sviluppo della coscienza, 40-41, 43
- omeostasi e, 42
- prospettiva degli organismi *in toto*, 68-69
- significato, 40
- sua sede neurale, 308-309
- valutazione delle immagini nella costruzione del sé autobiografico, 271
- valutazione delle immagini, 97-98
Van Hoesen, Gary, 276, 289, 404 n. 7, 412 n. 6, 419 n. 3, 421 n. 11
vasopressina, 66
veglia, stato di
- automatismo epilettico e, 208-12
- coscienza e, 13, 14, 202, 204-205, 233-34
- gradazioni dello, 204, 205
- nelle prime concettualizzazioni cliniche del coma, 307
- strutture e processi cerebrali coinvolti, 237-38, 285-86, 309, 311
vergogna, 164
Villanueva, L., 408-409 n. 6

visceri
– componenti, 124, 127
– loro connessione con il cervello, 153-56
– risposta della paura nei, 149
volontà di vivere, 322-23
– sue manifestazioni nelle forme di vita semplici, 51-52
Von Economo, neuroni di, 303

Wade, Nicholas, 428 n. 14
Watts, Alan G., 402 n. 9
Wearing, Clive, 299-300
Wearing, Deborah, 299-300
Weber, E.H., 408 n. 5
Wegner, Dan, 336, 349, 425-26 n. 1
Wiesel, Torsten, 403-404 n. 3
Wilson, E.O., 398-99 n. 16, 400-401 n. 1, 428 n. 16
Wood, James, 204, 415-16 n. 1
Wright, Richard, 428 n. 14

Young, L., 427-28 n. 12

Zangaladze, A., 413-14 n. 11
Zhou, Y-D., 413-14 n. 11
zone di convergenza-divergenza (ZCD)
– connessioni e segnalazione nelle, 187
– costruzione del significato nelle, 194
– evidenze della loro funzione, 191-94
– localizzazione delle, 187
– nel richiamo dei ricordi, 183-84, 187-91, *188-89*, 412-13 n. 8
– neuroni specchio e, 193-94
– numero delle, 187
– origini e sviluppo delle, 190
– processo dell'immaginazione nelle, 191-92
– rielaborazione di ricordi nelle, 267
– schema delle, *185*
– sincronizzazione degli stimoli sensoriali nelle, 191-92
– struttura delle, 187-90
– *si veda anche* regioni di convergenza-divergenza
Zweig, Jason, 427 n. 7